Lane Medical Library

Farbentransformation und Farbenkontrast

Experimentelle Beiträge zur Theorie der Transformation

Akademische Abhandlung

von

Ragnar Granit

Wird mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität Helsingfors im hist.-phil. Hörsaal am 2. Oktober 1926, um 12 Uhr vorm., öffentlich verteidigt.

Berlin und Leipzig 1926

Walter de Gruyter & Co.

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung - J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung - Georg Reimer - Karl J. Trübner - Veit & Comp.

Sonderabdruck
aus dem Skandinavischen Archiv für Physiologie. 1926. Band XLVIII.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig 79

Farbentransformation und Farbenkontrast.[1]

Experimentelle Beiträge zur Theorie der Transformation.

Von

Ragnar Granit.

(Aus dem Physiologischen Institut der Universität Helsingfors.)

(Mit 23 Figuren im Text.)

Inhalt.

I. Einleitung S. 147. — II. Die Fragestellung S. 153. — III. Methodik S. 155. — IV. Die isochrome Transformation S. 157. — V. Die heterochrome Transformation S. 177. — VI. Eine neue Versuchsanordnung S. 188. — A. Versuche mit nicht-komplementären Konstellationen S. 191. — B. Versuche mit komplementären Konstellationen S. 204. — VII. Die Feldgrößensätze von Katz S. 210. — VIII. Figur und Beleuchtung. Transformation und Kontrast S. 214.

I. Einleitung.

Hering hat die allgemeine Forderung aufgestellt, daß eine Vergleichung zweier Pigmentfarben nur vorgenommen werden darf, wenn die zu vergleichenden Farben durch gelochte Schirmen betrachtet werden, welche die Umrisse der farbigen Flächen verdecken. Dasselbe gilt für das Studium der einzelnen Farben. Nur als Lochfarben rufen sie Empfindungen hervor, die eine möglichst einfache psychophysische Relation ergeben. Für diese Art der Betrachtung hat Katz[2] bekanntlich den Terminus „Reduktion" eingeführt und die so betrachteten Farben „reduziert" genannt. Zugleich hat er nachgewiesen, daß die reduzierten Farben eine ganz spezifische Erscheinungsweise besitzen. Ihre Lokalisation im Raume ist unbestimmt, ihr Gefüge locker, ohne jedoch raumhaft zu sein,

[1] Der Redaktion am 27. März 1926 zugegangen.

[2] Die Erscheinungsweisen der Farben. Ergänz.-Bd. VII zur *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* 1911. S. 5ff.

und zur Blickrichtung sind sie frontalparallel orientiert. Farben gleicher Erscheinungsweise kommen in der Natur vor auch ohne künstlich reduziert zu sein; typische Beispiele sind die Farbe des Himmelsgewölbes sowie die Spektralfarben. Katz nennt sie „Flächenfarben". Eine Farbe vollständig reduzieren, heißt somit nach Katz, sie in das System der Flächenfarben einordnen. „Es gibt keinen Farbeneindruck, welche Eigentümlichkeiten auch immer er besitzt, dem nicht nach seiner Reduktion eine Farbe aus dem System der Flächenfarben als vollkommen gleich zuzuordnen wäre" (a. a. O. S. 38).

Praktisch sowohl als auch theoretisch ist die Reduktion von großer Bedeutung. Die reduzierte Farbe stellt sozusagen die Norm dar, auf die alle Eindrücke einer bestimmten Qualität zurückgeführt werden können. Besonders prägnant tritt ihre Bedeutung hervor den Tatsachen der „Farbentransformation" gegenüber. Wird nämlich ein farbiges Sehding Beleuchtungsveränderungen ausgesetzt, so bewahrt es — wie Hering zuerst nachgewiesen hat — innerhalb gewisser Grenzen seine Eigenfarbe. Von Katz ist zugefügt worden, daß Ding- und Beleuchtungsfarbe dabei gewissermaßen phänomenal isoliert sind. Man sieht ein farbiges „Hintereinander" — angenommen, daß beide chromatisch sind — die Eigenfarbe des Dinges schimmert durch die Beleuchtung hindurch.[1] Dieser Prozeß des „Sich-Herausspaltens" der Farbe des Sehdinges wird mit einem von Jaensch[2] vorgeschlagenen Namen „Transformation" benannt. — Nun können aber bei der reduzierenden Betrachtung Ding- und Beleuchtungsfarbe vereinigt werden; die dann erhaltene Flächenfarbe bringt wieder die einfache, durch die Farbenmischungsgesetzen bestimmte, psychophysische Relation hervor. Die Differenz zwischen den irgendwie bestimmten Zahlenwerten der reduzierten und der transformierten Farbe ist als Maß für die Stärke der Transformation gebraucht worden.

Oben waren farbige Beleuchtungen vorausgesetzt. Transformation tritt aber auch ein bei der Herabsetzung der Beleuchtungsstärke sowie beim Beschatten der Sehdinge. Die Objektfarben setzen dem Schatten unter der Beleuchtungsänderung sozusagen einen Widerstand entgegen;

---

[1] Zur Geschichte der alten Streitfrage, ob es ein farbiges Hintereinander gibt, bei F. Schumann. Die Dimensionen des Sehraumes. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* I. Bd. LXXXVI. 1921. Sie kann heute als endgültig gelöst bezeichnet werden. Vgl. unten S. 215.

[2] Jaensch, Über den Farbenkontrast und die sogenannte Berücksichtigung der farbigen Beleuchtung. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* II. 1921. Bd. LII. S. 166.

in Herings Terminologie: sie bewahren ihre Farbenbeständigkeit. Im Laufe eines Tages verändern sich Beleuchtung und Beschattung andauernd. In der Tat nehmen wir zu jeder Zeit die Dingfarben in irgendeiner Beleuchtung, z. T. auch beschattet, wahr, so daß die transformierte Farbe nach Hering die fast geläufigste Form unserer Farbeneindrücke ist; oder wie er es klar ausführt: „Die angenäherte Konstanz der Farben der Sehdinge trotz großer, qualitativer und quantitativer Änderung der allgemeinen Beleuchtung des Gesichtsfeldes ist eine der merkwürdigsten und wichtigsten Tatsachen im Gebiet der physiologischen Optik. Ohne diese angenäherte Konstanz würde ein Stück Kreide an einem trüben Tage ebenso dunkel sein, wie ein Stück Kohle an einem sonnigen Tage, und im Laufe eines Tages würde es alle möglichen, zwischen Weiß und Schwarz liegenden Farben annehmen müssen.“ [1]

Die Transformation bezieht sich nach dieser Auffassung auf Dingfarben, von Katz „Oberflächenfarben“ genannt. Diese „Oberflächenfarben treten fast nur an Gegenständen auf. Insofern sie als die farbigen Qualitäten der Gegenstände gesehen werden, liegt es nahe, sie mit dem Terminus „Gegenstandsfarben“ zu belegen. Dieser Terminus könnte jedoch in gewissen Fällen irreführen. So schreiben wir wohl einem Objekt aus rotem Glas oder einer gleichgefärbten Flüssigkeit das Rot als Gegenstandsfarbe zu; der in den beiden Fällen ausgelöste farbige Eindruck hat aber durchaus nicht den Charakter einer Oberflächenfarbe, besitzt vielmehr den Charakter der – – – Raumfarben. Andererseits treten Oberflächenfarben nicht nur an Gegenständen auf, man kann sie auch sonst z. B. an Rauch- und Dampfwolken, die undurchsichtig und mit stark ausgeprägtem Relief erscheinen, beobachten; es sind dies Fälle, wo die Auffassung der Rauch- oder Dampfwolken als so und so geformte Gegenstände naheliegt“ (a. a. O. S. 8—9). Die Erscheinungsweise der Oberflächenfarben ist von einer „festeren“ Struktur; jene Farben sind gut im Raume zu lokalisieren und können wie die Oberflächen, denen sie angehören, jede Orientierung zur Blickrichtung besitzen.

Die Beleuchtung muß, zum mindesten wenn sie stark anormal gefärbt ist, als eine „Raumfarbe“ im Sinne Katz aufgefaßt werden. Wie der Übergang von der Oberflächenfarbe zur Flächenfarbe, von ihr zur Raumfarbe in der Natur kontinuierlich sein kann, so scheint mir dementsprechend ein gleicher kontinuierlicher Übergang von der Raum-

[1] E. Hering, Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. Sonderabdr. aus Graefe-Sämisch, *Handbuch d. ges. Augenheilk.* Kap. XII. 1905 u. 1907. S. 16.

farbe zum verdünnten Luftlicht der Tagesbeleuchtung angenommen werden zu können; diese Fragen sind aber bis jetzt nur wenig experimentell untersucht worden (Siehe unten S. 215ff.).

Bei der theoretischen Behandlung des Transformationsproblems[1] hat man nach Herings Muster das Augenmerk im allgemeinen auf die Erklärung der Farbenkonstanz der Sehdinge gerichtet. Nach Herings Theorie sollten die Wechselwirkungen zwischen den Sehfeldelementen sowie die Adaptation des Gesamtauges, von Veränderungen der Pupillengröße unterstützt, derart zusammenwirken, daß die Sehdinge innerhalb gewisser Grenzen in konstanter Färbung erscheinen. Auf diese Weise würden sich konstante „Gedächtnisfarben" ausbilden, die ihrerseits wiederum, rückwirkend auf die Außenwelt, zur Aufrechterhaltung der Farbenbeständigkeit der Sehdinge beitragen könnten. Indessen sind von diesen Faktoren die Adaptation des Gesamtauges sowie die Veränderungen der Pupillengröße schon von Katz (a. a. O. S. 270) experimentell eliminiert worden, ohne daß die Transformation dadurch aufgehoben wurde. Die unten geschilderten Transformationsversuche der vorliegenden Arbeit sind ebenfalls bei annähernd konstanter Adaptation ausgeführt. Die Wechselwirkungen zwischen den Sehfeldelementen (Simultankontrast) betreffend sind jene Gedanken die bis auf Helmholtz zurückgehen von Jaensch und seinen Mitarbeitern weiterentwickelt worden. Katz trennte — hauptsächlich aus phänomenalen Erwägungen heraus — die Transformationserscheinungen von denen des Kontrastes (a. a. O. S. 403ff). Auch Jaensch und E. A. Müller[2] geben einen Versuch an, der beweisen soll, daß die Transformation nicht auf Umgebungskontrast zurückführbar ist. Aber in einer Reihe von Arbeiten haben zugleich Jaensch und seine Mitarbeiter nachzuweisen versucht, daß andererseits zwischen Kontrast und Transformation eine enge Parallelität besteht: „Gesetze des Kontrastes gehen über in Gesetze der Transformationserscheinungen, wenn man in den Kontrastgesetzen den Terminus ‚Umfeld' ersetzt durch den Terminus ‚beleuchteter Raum'" (Jaensch und Müller S. 272). Im Anschluß an diese Untersuchungen zog Jaensch (a. a. O. S. 180) den Schluß, daß „da somit die Transformation kein Abkömmling des Kon-

[1] Eine gute Übersicht der Transformationstheorien gibt O. Kroh, Über Farbenkonstanz und Farbentransformation. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* II. 1921. Bd. LII. S. 181ff.

[2] Jaensch u. Müller, Über die Wahrnehmung farbloser Helligkeiten und den Helligkeitskontrast. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* I. 1920. Bd. LXXXIII. S. 283ff.

trastes ist, bei dem strengen Gesetzesparallelismus aber ein enger Zusammenhang zwischen beiden Gebieten bestehen muß, so wird umgekehrt der Kontrast ein Abkömmling der sog. Berücksichtigung der Beleuchtung sein". Gegen diese Behauptung sind von Kaila[1] und besonders von G. E. Müller[2] schwerwiegende Einwände erhoben worden. Da ich in meiner experimentellen Arbeit diese Fragen eingehend behandeln werde, kehre ich im letzten Kapitel (S. 218ff.) zu jener Theorie zurück.

Obwohl Katz die Forschung mehr nach der phänomenologischen und experimentellen als nach der theoretischen Seite betrieb, hat er doch gewisse theoretische Vorstellungen vom Problem der Farbenkonstanz entwickelt. Da er den Schwerpunkt eben in diese letzte Fragestellung verlegt, bleibt für ihn zu erklären, warum sich die Sehdinge in anormaler Beleuchtung annähernd in den Farben der normalen Beleuchtung zeigen. Katz nimmt eine Beeinflussung der individuellen Erfahrung an, über die er reproduktionstheoretische Anschauungen darlegt. „Bei der Erklärung der ausgezeichneten Stellung, welche die normal beleuchteten Oberflächenfarben bei diesen Assoziationen einnehmen, wird man auch an ihre zeitliche Prävelenz denken zu haben" (a. a. O. S. 380). Auch Kaila, zu dessen Theorie ich später Stellung nehmen werde, legt auf die Farbenbeständigkeit der Sehdinge das Hauptgewicht.

Es hat sich indessen im Laufe der vorliegenden Untersuchung herausgestellt, daß derjenige Fall, bei dem die Erhaltung der Farbenkonstanz der Sehdinge sozusagen die Idee der Transformation wäre, als ein Spezialfall einer weit allgemeineren Gesetzmäßigkeit betrachtet werden muß.[3] In einer vorläufigen Mitteilung[4] habe ich schon einiges zur Begründung dieser Behauptung angeführt, zugleich auch gezeigt, daß dem Gestaltfaktor eine einschneidende Bedeutung zukommt — wenigstens in dem dort untersuchten Fall. In der Tat liegt dieser Gedanke gar nicht fern. So bemerkt gelegentlich Kaila: „Überhaupt hat der Phänomenkomplex

---

[1] E. Kaila, Gegenstandsfarbe u. Beleuchtung. *Psychol. Forschung.* 1923. Bd. III. S. 28ff.

[2] G. E. Müller, Über Jaenschs Zurückführung des Simultankontrastes auf zentrale Transformation. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* I. 1923. Bd. XCIII. S. 1—17.

[3] Gegen die Annahme einer Farbenkonstanz sind auch von K. Bühler Einwände erhoben worden. *Handbuch der Psychologie.* I. Teil. 1. Heft. Jena 1922. S. 105ff.

[4] Granit, Einige Versuche mit farbigen Feldern in gleichfarbigen Beleuchtungen. *Dies. Archiv.* 1925. Bd. XLVI.

‚Beleuchtungsfeld und Objektfeld' mannigfache Berührungspunkte mit dem Erscheinungskreis ‚Figur und Hintergrund' (a. a. O. S. 56). Bei den schönen Experimenten von Hering und Katz kann immer wieder auf die Bedeutung der Dinghaftigkeit für die Transformation hingewiesen werden. Und Rubin[1], der ja als erster den Phänomenkomplex „Figur-Grund" eingehend untersucht hat, schildert Versuche, nach denen die Figur gegen Beschattung und Beleuchtung widerstandsfähiger sein soll als der Grund. Weiter zeigen u. a. die sog. farbigen „Angleichungserscheinungen", die Fuchs[2] unter dem Einfluß der Gestalt an Figuren beobachten konnte, daß figurale Momente Farbenveränderungen bewirken können. Farbige Angleichungserscheinungen sind auch schon früher beobachtet worden. Mehrere Autoren könnten genannt werden: G. E. Müller, Fröbes, Wundt[3] usw.; zum Schluß dieser Übersicht sei eine diesbezügliche Äußerung von W. Köhler angeführt: „Daß ferner die sog. Farbenkonstanz auf Erfahrung beruht, ist nachgerade (die Angleichungserscheinungen sind erwähnt) recht unwahrscheinlich geworden, und wenn man (mit Katz) findet, daß diese Erscheinung Funktion der Beleuchtungsverhältnisse des jeweiligen ‚Infeldes' ist, so taucht unwillkürlich der Verdacht auf, daß es sich auch hier um eine radikale Bestimmung der Farbe des Teils innerhalb der größeren Konstellation handelt" (S. 392).[4]

Im Hinblick auf all das stellt sich die Frage, inwiefern die Transformation von figuralen, d. h. Gestaltmomenten abhängt, nicht nur ganz natürlich ein, sondern scheint dringend der Beantwortung zu harren, falls wir auf diesem Gebiete Fortschritte machen wollen. Die vorliegende Arbeit soll eben ein Beitrag zur Analyse derjenigen Beziehungen sein, welche die Kontrast- und Gestaltfaktoren bei dem Transformationsprozeß eingehen.

---

[1] Rubin, *Synsoplevede Figurer*. Köbenhavn og Kristiania 1915. § 7.

[2] Fuchs, Exp. Unters. über die Änderung von Farben unter den Einfluß von Gestalten. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* I. 1923. Bd. XCII. S. 249—326.

[3] Man vergleiche die Literaturanweisungen bei Fuchs, a. a. O. S. 287ff.

[4] W. Köhler, Komplextheorie u. Gestalttheorie. *Psychol. Forschung* 1925. Bd. VI. Gegen die individuelle Erfahrung als bedingende Ursache der Transformation richtet sich Köhler auch in einer anderen Arbeit, wo er den Nachweis bringt, daß Transformationserscheinungen auch beim Schimpansen und beim Haushuhn auftreten: Optische Untersuchungen am Schimpansen und am Haushuhn. *Abh. d. Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss.* **1915**. *Phys.-Math. Kl.* **3**. S. 69—70.

II. Die Fragestellung.

Wenn in der oben angedeuteten Weise die Differenz zwischen den Zahlenwerten der reduzierten und transformierten Figurfarbe als Maß für die Stärke der Transformation benutzt wird, ist dies Verfahren physiologisch anfechtbar. Denn die reduzierte Farbe wird gegen einen anderen Hintergrund — den Reduktionsschirm — gemessen als die transformierte, deren Umgebung in der Beleuchtungsfarbe erscheint. Diese Farbe ist somit anderen Kontrasteinflüssen ausgesetzt als jene, ganz davon zu schweigen, daß die Figurkonstellationen in den beiden Fällen verschieden sind. Eine Subtraktion zweier gleichen Farben setzt aber voraus, daß beide in allen Hinsichten physiologisch gleichwertig sind, d. h. hier, daß auch die Wechselwirkung zwischen den Sehfeldelementen möglichst konstant gehalten wird. Der reduzierten Farbe muß ein Indukt zugeführt werden von derselben Größe und Richtung wie der transformierten.

Wie soll nun im Experiment eine physiologisch gültige Vergleichbarkeit zwischen transformierter und reduzierter Farbe erreicht werden? Anleitung geben einige Bemerkungen von Rubin (a. a. O. S. 54), nach denen dem Grunde mehr der Charakter einer Flächenfarbe, der Figur der einer Oberflächenfarbe zukomme. In der Tat haben wir diese Beobachtung mit unserer Versuchsanordnung immer wieder bestätigen können. Eine einfache Überlegung, die zugleich das Prinzip meiner Versuchsanordnung andeutet, macht sie auch theoretisch wahrscheinlich. Wir stellen uns eine große reduzierte Fläche in farbiger Beleuchtung vor. Wird jetzt in die Mitte der reduziert gesehenen Fläche eine andersfarbige Figur eingeführt, so wird jene Figur Farbentransformation aufweisen. Die reduzierte Fläche wird Hintergrund werden. Ist sie aber noch als reduziert anzusprechen? Mit großer Wahrscheinlichkeit, denn wie wir durch Rubin (a. a. O. S. 75) wissen, tritt das kleine umschlossene Feld gewöhnlich als Figur auf und der Einfluß des Konturs ist fast eindeutig gerichtet; die phänomenalen Veränderungen beziehen sich hauptsächlich auf die Figur. Die Farbenverschiedenheit zwischen Figur und Grund muß — falls der Kontrast wirklich eine Wechselwirkung zwischen den Sehfeldelementen ist — dagegen bewirken, daß in der neuen Konstellation beide anderswie als vorher kontrastiv beeinflußt werden. Kehren wir nachher die Konstellation um, indem wir die vorher reduzierte Fläche, den Grund, zur Figur machen, die frühere Figur zum Grund, so wird sich das umgekehrte Verhältnis einstellen. Die vorher reduzierte Farbe wird als

Figur Transformation aufweisen, ist aber noch annähernd demselben Kontrasteinfluß ausgesetzt wie im vorigen Fall. Waren Figur und Grund gleich groß, so hatten wir dieselbe Farbe einmal als Figur, transformiert, das andere Mal als Grund reduziert vor uns, beide von gleich großen und gleichgerichteten farbigen Indukten beeinflußt. Diese „Methode der umgekehrten Konstellationen"[1] wollen wir als leitendes Prinzip für unsere Arbeit aufstellen. In einfacher Weise gibt jenes Verfahren Aufschluß über eventuelle farbenphysiologische Wirkungen anknüpfend an den Erscheinungskomplex Figur-Grund. Jedoch muß bemerkt werden, daß die achromatischen Indukte z. T. verschieden sind, wenn dieselbe Farbe einmal als Figur, das andere Mal als Grund erscheint, denn für das Grundfeld kommt immer der Kontrast seitens des grauen Reduktionsschirmes in Frage, während das Figurfeld nur vom Umfeld[2] beeinflußt ist. Die beiden Konstellationen sind in bezug auf den Kontrast physiologisch nicht völlig gleichwertig; nur für die chromatischen Valenzen kann dies mit großer Annäherung behauptet werden.

Ich habe oben die Annahme, die Farbentransformation sei ein Mechanismus zur Aufrechterhaltung der Farbenbeständigkeit, als allzu enggefaßte Ansicht bezeichnet. Sie scheint jedoch die nächstliegende zu sein, wenn erstens der jeweilige Hintergrund (Umfeld) nicht mitberücksichtigt wird und zweitens nur achromatische und ungleichfarbige Figuren und Beleuchtungen benutzt werden. Denn angenommen, daß die figurale Konstellation farbenphysiologisch bedeutungsvoll wäre, indem sie z. B. die Farbe in irgendeiner Weise akzentuieren würde, die die Figur am besten hervortreten läßt — eine Annahme, die gestalttheoretisch naheliegt — so ist es einleuchtend, daß das Sehding in der weit überwiegenden Mehrzahl der Fälle auch seine Farbenkonstanz bewahren würde. Eine blaue Figur in roter Beleuchtung würde als blau hervortreten, eine gelbe in derselben Beleuchtung als gelb, ein beschattetes Weiß als weiß usw. Mit anderen Worten, dieselben Momente, die das Hervortreten der Figur begünstigen, befördern in den meisten Fällen auch die Farbenbeständigkeit. Die beiden Gesichtpunkte würden dabei einander decken.

Ein möglicher Einfluß der figuralen Momente muß zuerst in einem einfachen Fall nachgewiesen werden. Ich habe deshalb im Anfang mit

---

[1] Ein solches „Umkehrungsverfahren" ist früher von Gelb und Granit benutzt worden: Die Bedeutung von „Figur" und „Grund" für die Farbenschwelle *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* I, 1923. Bd. XCIII. S. 86.

[2] Um Verwechslungen zu vermeiden soll im folgenden der Grund einer Figur „Umfeld" genannt werden; der Name „Grund" nur dem Grunde der umgekehrten Konstellation vorbehalten werden.

farbigen Figuren in gleichfarbiger Beleuchtung gearbeitet und dabei die Variationen der figuralen Konstellation durch Schwarzzusatz zum Umfeld hervorgebracht. Die Figurfarbe kann bei einem solchen Versuch keinen Unterschied aufweisen von der Beleuchtungsfarbe, der nicht im Widerspruch zur These von der Farbenkonstanz steht. Stellen wir uns demnach als nächste Aufgabe, zu einer farbigen Figur in gleichfarbiger Beleuchtung ein aus Schwarz und Weiß zusammengesetztes Umfeld (Hintergrund) von $0^0 S$ $(+ 360^0 W)$ bis zum $360^0 S$ $(+ 0^0 W)$ zu variieren, um dann die Konstellation umzukehren, die Figur zu variieren, die frühere konstante Figur jetzt als ebenfalls konstanten Grund zu benutzen.

III. Methodik.

Als brauchbare — wenn auch nicht ideale — Versuchsanordnung erweist sich die folgende:

Ein großer Dunkelkasten (für Masse, vgl. Fig. 1) ist in zwei vollständig voneinander getrennte, gleichgroße Teile geteilt. Die Vorderseite jedes Teiles bildet eine Tür, die mit einer rundlichen Öffnung (Diameter etwa 22 cm) versehen ist. Durch das Rohr R, bzw. R_1, eines innen und außen geschwärzten Rohrsystems, das, wie die Figur angibt, in die Öffnung eingefügt ist, sieht die Vp (Versuchsperson) den elektrischen Kreisel K, bzw. K_1, im Lichte der nach außen geschlossenen Lampe L, bzw. L_1. Ein Diaphragma D (D_1) dient zum Begrenzen der Gesichtsfeldes; zugleich bildet es, da das Licht fast nur von innen kommt, für jeden Versuch einen konstanten, beinahe lichtlosen Reduktionsschirm. Farbiges Licht kann einfach durch Vorsetzen farbiger Gelatine oder Gläser erzeugt werden. Die Versuche werden nur mit spektralkontrollierten Gläsern gemacht, welche vor der Öffnung R gehalten werden. Auf dem einen Kreisel (K) wird die gewünschte Kombination von Beleuchtung, Figur und Umfeld eingestellt,

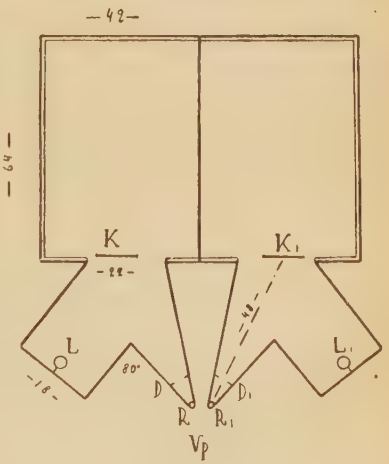

Fig. 1.
Die Maßangaben in Zentimeter.

der andere (K_1) dient zur Messung der resultierenden Figur- oder Grundfarbe. Die Beobachtungen sind sowohl mono- wie binokulär, simultan wie sukzessiv gemacht, nur habe ich dafür Sorge getragen daß jede Vp immer in derselben Weise beobachtet hat.

Diese Versuchsanordnung hat ihre Nachteile: erstens ist es sehr zeitraubend zum K_1-Kreisel derartige farbige Papiere auszusuchen, die zur Kombination: gefärbtes Glas und farbiges Papier der *R*-Seite gut passen, zweitens läßt sie nur das Beobachten mäßiger transformativer Veränderungen zu. Die Stärke der Transformation wächst ja nach dem Feldgrößensatz von Katz (a. a. O. S. 318ff.) mit der Vergrößerung des anormal beleuchteten Gesichtsfeldes.[1] — Anderseits wäre es doch recht unbequem, ein größeres Gesichtsfeld zu benutzen, weil ja Figur und Grund bei diesen Versuchen gleich groß sein müssen. Ich habe das Umfeld oder — nach Umkehrung der Konstellation — den Grund sowohl ein bißchen größer (Verhältnis 1:1·5) als auch kleiner (Verhältnis 1:0·8) genommen, was noch nicht gleichbedeutend mit meßbaren Differenzen der Zahlenwerte ist.

Die Vorteile unserer Anordnung liegen auf der Hand: Die Beleuchtung kann schnell gewechselt werden, sie ist konstanter, als wenn Tageslicht benutzt wird; die Versuchsperson ist von der Beleuchtung gut isoliert, die angenäherte Konstanz der Adaptation deshalb durch einfache Maßnahmen gesichert.

Die physikalischen Grundlagen der Anordung sind auch einfach. Betont muß werden, daß die gefärbten Gläser nur bestimmte Wellenlängen des Spektrums durchlassen, und daß sie darum spektralphotometrisch bestimmt werden müssen. Wenn z. B. die Figur rot, das Glas blau ist, muß natürlich ein Blau gewählt werden, das wirklich rote Strahlen durchläßt. Für Versuche mit Komplementfarben in Figur und Beleuchtung ist unsere Anordnung deshalb nicht recht brauchbar. Das Resultat der spektralphotometrischen Analyse findet sich in Fig. 2. Wie ersichtlich, sind nur die Orange-, Grün- und Violettgläser für Versuche geeignet, bei denen Figur und Beleuchtung ungleichfarbig sind. Das Orangeglas läßt rot, gelb und sogar ein wenig grün durch, das Violettglas blau und reines rot. Die Rot- und Blaugläser sind ziemlich spektralrein. Bemerkenswert ist die große Lichtabsorption des dunklen Grünglases. Die Bestimmungen sind von mir ausgeführt.

[1] Über den Feldgrößensatz vgl. unten Kap. VII.

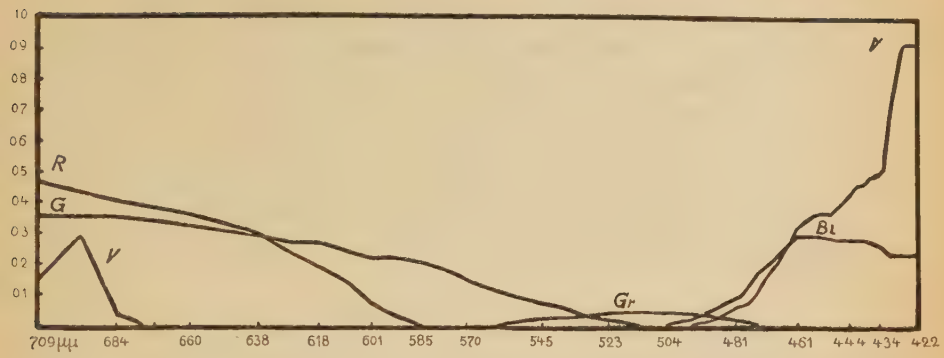

Fig. 2.
Die Absorptionskurven der farbigen Gläser.
R = rot, *Gr* = grün, *Bl* = blau, *G* = orange, *V* = violett.

Als Versuchspersonen stellten sich in freundlicher Weise zur Verfügung die Herren cand. med. Alf Limnell (A. L.), Bertel v. Bonsdorff (B. B.), Georg Tallqvist (G. T.), Erik Adlercreutz, Torsten Forstén (T. F.), C. J. Granlund (C. G.), Fräulein cand. med. Helga Feiring (H. F.) sowie die Herren cand. phil. Kurt Reuter (K. R.), Lars-Ivar Ringbom (L. I. R.), Erik Westzynthius (E. W.), Torger Enckell (T. E.), Ragnar Ölander (R. Ö.) und Fräulein cand. phil. Märta Pipping (M. P.).

Die experimentelle Arbeit wurde im Herbst 1922 begonnen und hat sich über zwei Jahre erstreckt.

IV. Die isochrome Transformation.

Bei dem zunächst zu schilderndem Versuch sieht die Vp im Rohre *R* in blauer Beleuchtung eine hellblaue Scheibe (Durchmesser etwa 10 cm), 180° barytweiß + 180° Ostwaldblau, speziell für physiologische Zwecke hergestellt —, dessen Weiß-Valenz nach der Brücknerschen Methode[1] gemessen, etwa 52° beträgt. Das Blau ist demnach an sich ziemlich dunkel. Die hellblaue Figur rotiert mit dem zugehörigen annähernd gleich großen Umfeld, das aus einer barytweißen und einer schwarzen Scheibe (Ostwaldsches Schwarz, das 1·4% Weiß enthält) zusammengesetzt ist. Das Diaphragma *D* begrenzt das Gesichtsfeld. Ebenso groß wie die Öffnung im *D* ist die des Diaphragmas (D_1) der R_1-Seite,

[1] A. Brückner, Helligkeitsbestimmungen farbiger Papiere. *Pflügers Archiv f. d. ges. Physiol.* 1903. Bd. XCVIII.

wo die Farbengleichungen eingestellt werden (Gleichungsseite). Die Lampen L und L_1 sind Argenta-Lampen von etwa 40 NK. Auf der Gleichungsseite absorbiert ein blauer Gelatinfilter die gelben Strahlen des Lichts und gibt der Beleuchtung einen Stich ins Bläuliche. Zur Herstellung der Gleichung ist ein Zimmermannsches Blau genommen, das die Koboltfarbe des Blaugläschens gut wiedergibt, besonders wenn die Gleichung in schwächerer Beleuchtung derselben Art wie die der Versuchsseite (R-Seite) eingestellt wird.

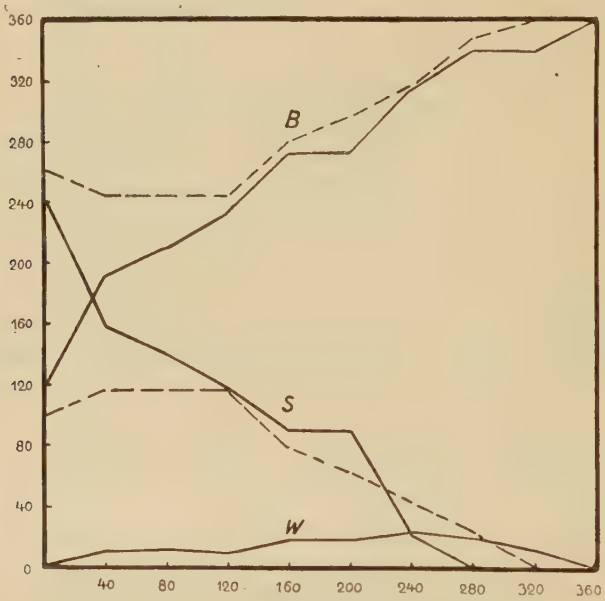

Fig. 3.
Figur (180° Bl + 180° W) und Beleuchtung blau. Vp H. F.
S = schwarz, B = blau, W = weiß.

Mehrere Beobachter haben mit Katz eine Schwierigkeit darin gefunden, daß eine in normaler Beleuchtung eingestellte Gleichung nie dem Eindruck einer anormal beleuchteten Scheibe völlig entspricht. Auch meine Vpn — sowie ich selbst — fühlten bei diesem Verfahren Unsicherheit in der Vergleichung, obwohl die Ergebnisse solcher Versuchsreihen im gleichen Sinn ausfielen wie die der übrigen, bei denen immer die Gleichungsseite in der Beleuchtung des jeweiligen Versuches erschien. Die Berechtigung des letztgenannten Verfahrens kann nicht in Frage gestellt werden, da es hauptsächlich darauf ankam, Figur und umgekehrten Grund zu vergleichen und beide hierbei gleichen Versuchsbedingungen ausgesetzt waren.

Die Figuren 3 und 4 zeigen Versuchsreihen dieser Art. In die Abszisse sind die Veränderungen des Umfeldes, bzw. des Infeldes der umgekehrten Konstellation, von 0° bis 360° *S* eingetragen. Die Ordinaten spiegeln die phänomenalen Veränderungen der Farbe der konstanten Figur, bzw. des ebenso konstanten Grundes der umgekehrten Konstellation wieder. Die Gleichungen sind mit schwarz, blau und weiß aufgestellt worden. Die ausgezogenen Linien gehören zur blauen Figur, die gestrichelten zum blauen umgekehrten Grund, und zwar ist das Blau in den beiden Fällen

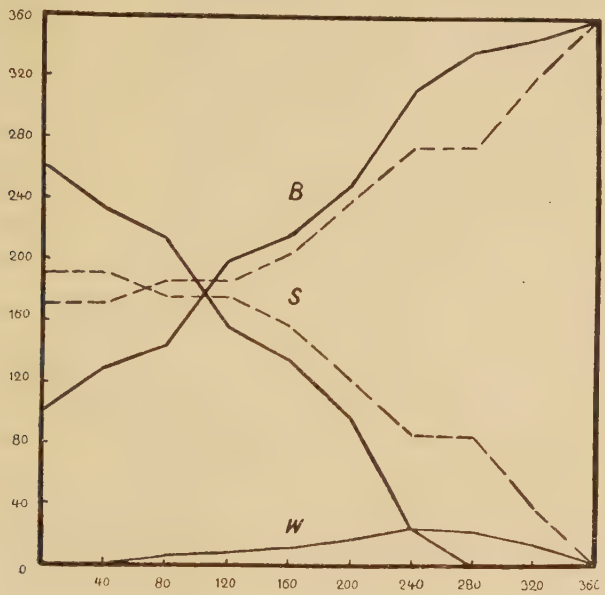

Fig. 4.
Figur (180° *Bl* + 180° *W*) und Beleuchtung blau. Vp d. Verf.
S = schwarz, *Bl* = blau, *W* = weiß.

dasselbe. Wir können demnach das Blau einer Figur mit demselben Blau eines umgekehrten — denselben Versuchsbedingungen ausgesetzten — Grundes direkt vergleichen.

Sogleich fällt ins Auge, daß während die Veränderungen des Grundes nur mit schwarz (*S*) und blau (*B*) wiedergeben worden sind, die Vpn zwecks Darstellung der figuralen Veränderungen auch weiß (*W*) ins Kurvenbild einführen müssen. Ferner ist zu bemerken, daß die Grundkurven im Anfang einen viel monotoneren Verlauf haben als die Figurkurven. Jene sind fast horizontal, diese sinken (*S*) und steigen (*B*) schnell

von Anfang an. Am besten fassen wir die Erscheinungen an Hand der phänomenalen Tatsachen ins Auge: Gegen das weiße Umfeld, das jedoch in der blauen Beleuchtung hellblau aussieht, hebt sich die Figur deutlich ab, und zwar als dunkelblau (Stadium 1). Die Schwarzkurve der Figur steht ausnahmslos höher als die des umgekehrten Grundes. Wenn das Umfeld danach dunkler gemacht wird — jede 40° sind gemessen worden —, nimmt seine Bläulichkeit zu, zugleich aber wird die Figur aufgehellt, wobei sich Figur und Umfeld hinsichtlich der Farbe einander nähern, um bei etwa 120° zu einer einzigen homogenen Fläche zusammenzuschmelzen. Diese ist jetzt Figur (Stadium 2). Der Schwarzzusatz zum Umfeld schreitet weiter. Der Eindruck einer homogenen blauen Fläche kann sich natürlich nur innerhalb eines engen Bezirks halten. Danach springt die Figur wieder heraus, jetzt aber als weißlich-ungesättigt blau in einer tiefblauen Umgebung. Die farbige Beleuchtung ist hier am deutlichsten als Beleuchtung sichtbar und durch sie schimmert die weißliche Figur fast nebelhaft hindurch (Stadium 3). Ihre „Eindringlichkeit" ist gering, doch tritt sie deutlich konturiert hervor. Wir sind jetzt beim Punkt des weißen Maximus des Kurvenbilds. Wenn das Umfeld noch dunkler gemacht wird und somit nur einen winzigen Bruchteil des blauen Lichts zurückwirft, tritt die Figur wieder als blau hervor, von Beleuchtung ist nicht viel zu sehen, die Figur ist aber sehr „eindringlich" und leuchtend blau (Stadium 4). Die Weißkurve fällt, die Blaukurve steigt allein.

Im Verhältnis zur reichen Variation der phänomenalen Erscheinungsweise der Figur ist deren Dürftigkeit besonders auffallend, wenn der umgekehrte Grund in Betracht gezogen wird. Es wird dann ja das Infeld dunkler gemacht. Von 0 bis 120° *S* hat der Grund keine Veränderung erfahren, dann aber fängt die Schwarzkurve an kontinuierlich zu sinken, was auf kontrastiver Einwirkung seitens des Infeldes beruhen muß. Die Blaukurve steigt dabei; an sich nicht unbedingt notwendig, und eigentlich — wenigstens innerhalb weiter Grenzen — als eine Konsequenz der Anordnung mit zwei Maxwellschen Scheiben anzusehen. Der Blaueindruck weist eine deutliche Veränderung erst am Ende der Abszisse auf. Wenn das Infeld schwarz ist, so wird das Blau des Grundes — wie im entsprechenden Fall der Figur — besonders leuchtend. Phänomenal ist die Grundfarbe als eine Flächenfarbe anzusprechen.

Eine zusammenfassende Übersicht der Ergebnisse stellt heraus. Für die Figurkurven: die vier Stadien:

1. Figur hebt sich als dunkelblau gegen das hellblaue Umfeld ab;
2. Figur und Umfeld bilden eine homogene, blaue Fläche;
3. Figur ist entsättigt, mit weiß verhüllt, Umfeld tiefblau, Beleuchtung am deutlichsten;
4. Figur leuchtend blau, Umfeld fast schwarz.

Für Figur und umgekehrten Grund sind die Stadien 2 und 4 gemeinsam. Die Kurven stehen dort einander sehr nah.

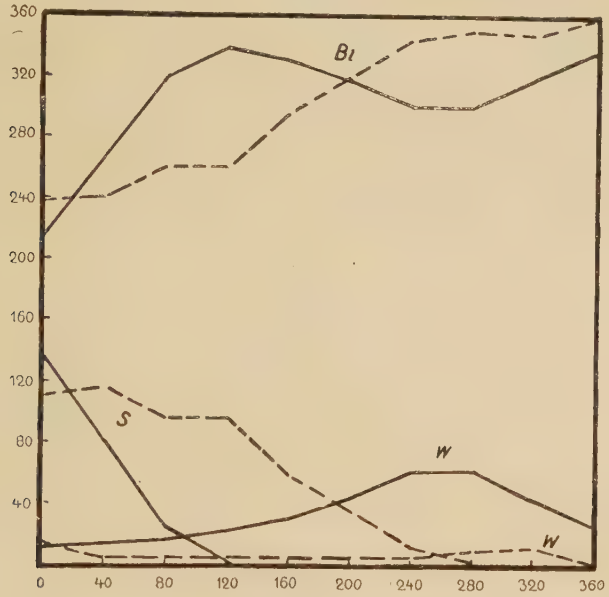

Fig. 5.
Figur (180° *Bl* + 180° *W*) Vp C. G. *S* = schwarz, *Bl* = blau, *W* = weiß.

Für die Grundkurven: ihren Verlauf ganz im Sinne einer induktiven Wirkung seitens des allmählich dunkler werdenden Infeldes. Da diese Wirkung erst jenseits 120° *S* einsetzt, muß erwartet werden, daß der Schwarzzusatz zum Infeld sich auch nicht früher geltend gemacht hat, eine Annahme, die der Prüfung leicht zugänglich ist. Wir stellen in derselben Konstellation auch die Farbengleichungen für das variable Infeld (das also aus einem schwarzen und einem weißen Sektor zusammengesetzt worden ist) ein und finden dabei, daß in der Tat der Schwarzsektor der Gleichung bis etwa 130° *S* der Abszisse unverändert bleibt.

Eine der Vpn zeigte beim Versuch mit der hellblauen Figur und ihren

umgekehrten Grund ein etwas abweichendes Verhalten, das erwähnt werden muß, schon weil die entsprechenden Kurven die Tatsachen gewissermaßen reiner darstellen als die der übrigen Vpn. Wenn diese weiß in die Figurgleichung einführen, steigen auch ihre Blaukurven (vgl. Fig. 3 und 4). Jene Vergrößerung des Blausektors bedeutet aber phänomenal sehr wenig neben der gleichzeitigen Vergrößerung des Weißsektors; sie ist zum Teil auch eine Folge der Verminderung des Schwarzsektors. Nun sieht diese Vp die blaue Farbe heller als die übrigen Vpn (vgl. Fig. 5). Die Schwarzkurve der Figur steht daher vom Anfang an niedrig und fällt so ab, daß bei 120° *S* der Schwarzsektor gleich Null ist. Wenn danach die Weißkurve steigt, kann dies nur auf Kosten des Blausektors geschehen; die Blaukurve muß daher beim weißen Maximum wieder abfallen. Die vier Stadien treten somit bei dieser Vp deutlicher hervor als bei den übrigen. Die Kurven des umgekehrten Grundes haben ihren gewöhnlichen monotonen Verlauf, nur ist hier auch eine Weißkurve des Grundes zu finden, entsprechend der Tatsache, daß die blaue Farbe dieser Vp heller erschien als den übrigen. Ein Maximum ist auch beim Weiß des Grundes zu beobachten, jedoch ist es sehr unbedeutend im Verhältnis zu der deutlich ausgesprochenen Steigerung der weißen Figurkurve.

Um die Übersicht über die Ergebnisse zu erleichtern, will ich schon hier einige prinzipielle Fragen berühren. Wir haben gesehen, daß wahrscheinlich nur die Kurven eines umgekehrten Grundes im Sinne einer Kontrastwirkung verlaufen, die Figurkurven scheinen eigenen Gesetzen zu folgen. Es ergeben sich dann verschiedene Gesichtspunkte für die Deutung: entweder haben wir es mit einer spezifischen Figurwirkung zu tun, mit einem Mechanismus sui generis, oder die figurale Konstellation übt einen Einfluß auf — unbekannte oder — schon bekannte physiologische Funktionen aus; um die Tatsache der Gestaltbedingtheit kommen wir meines Erachtens nicht herum. Die einzige Möglichkeit, den Figurfaktor auszuschließen, sei schon hier zurückgewiesen. Der umgekehrte Grund ist nämlich von einem „äußeren" Faktor beeinflußt, der nicht gleichzeitig auf die Figur wirkt: dem in diesem Fall fast lichtlosen Reduktionsschirm, bzw. Diaphragma *D*. Er kann aber höchstens auf den Kurvenverlauf eine ausgleichende Wirkung ausüben. Da der umgekehrte Grund im Versuch nicht objektiv verändert worden ist und subjektiv hauptsächlich nur eine Aufhellung erfährt, so muß der Reduktionsschirm die ganze Versuchsreihe hindurch ihm einen annähernd konstanten oder an Stärke etwas zunehmenden Indukt zuführen; die Tatsache des Figur-Grund-Unterschiedes kann er nicht erklären. Vielmehr muß eben diese Tatsache im Schwerpunkt der Erklärung stehen, auch deshalb, weil wir in der Tat Gesetzmäßigkeiten kennen, die sich auf sie beziehen.

Wertheimer[1] hat den Prägnanzsatz aufgestellt. Dieser besagt, daß die Sehdinge zu formaler Prägnanz streben, eine gesehene Mannigfaltigkeit tritt gewöhnlich nicht als ein ungeordnetes „Ineinander" auf, sondern wird von einer „inneren" spontanen Tätigkeit nach gesetzmäßiger „Ganzbedingtheit" geordnet; überall wirkt von innen her die „Tendenz zur Prägnanz der Gestalt". Diese Formulierung ist nun an sich recht allgemein, — kann auch nichts anderes sein. Es muß z. B. gefragt werden, nach welchem speziellen Gesetze die „Tendenz zur Prägnanz" in den einzelnen Fällen wirkt, wann jener, wann dieser Mechanismus zur Herstellung der Prägnanz benutzt wird, inwiefern die reizphysikalische Konstellation mitbestimmend ist, inwiefern jener, inwiefern dieser „innere" Faktor eine Rolle spielt usw. Um alles das kurz in einem Vergleich auszudrücken, das ist, als wollte man sagen, dem Körper komme eine „Tendenz" zu, auf vermehrte Arbeit mit zunehmender Säureaufnahme zu reagieren. Diese Erkenntnis hatte einen wissenschaftlichen Wert, sagt jedoch nichts über die Natur der dabei tätigen Mechanismen aus. Ex analogia kommt dem Prägnanzsatz ein wissenschaftlicher Wert zu; er kann daher als Ausgangspunkt für Untersuchungen benutzt werden, die als Ziel eine wahre Einsicht in die Natur der von ihm ausgedrückten speziellen Gesetzmäßigkeiten aufstellen. Demnach wird im folgenden der Prägnanzsatz benutzt werden, um dem Experimentieren sozusagen ein Rückgrat zu geben, um das sich die Tatsachen — wie wir sehen werden — zwanglos gruppieren lassen können.

Die bisherigen Versuche sollen sogleich in diesen Zusammenhang eingeordnet werden. Den Prägnanzsatz auf sie anzuwenden, würde besagen, daß die gegebenen reizphysikalischen Beziehungen nicht allein für den Eindruck bestimmend wären, daß vielmehr die Figur immer die Farbe annehmen würde, die ihre Form am besten hervortreten läßt. Dabei ist vorausgesetzt, daß nichts ganz Neues frei geschaffen wird, sondern daß nur eine besondere Art von „Ausnutzung" der einmal gegebenen Reize im Sinne der Tendenz zur Prägnanz vorhanden ist; die Farbe, welche die Figur möglichst prägnant gestaltet, wird sozusagen akzentuiert. Im Stadium 1 wird die Figur mit Schwarzzusatz herausgehoben — die Schwarzkurven des umgekehrten Grundes stehen bei allen Vpn niedriger als die der zugehörigen Figur. Vielleicht wird aber auch der umgekehrte Grund induktiv vom lichtlosen Diaphragma *D* im Sinne einer Steigerung seiner Weißlichkeit

[1] M. Wertheimer, Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt II. *Psychol. Forschung.* 1923. Bd. IV. Siehe auch Fuchs (a. a. O.).

beeinflußt, so daß der Unterschied auch z. T. darauf beruhen kann. Diese Frage wurde oben (S. 162) schon behandelt. Im Stadium 2 schmelzen Figur und Umfeld zu einer homogenen Fläche zusammen. Diese wird jetzt Figur, die Konstellation ist dabei auch eindeutig und prägnant. Wird das Umfeld noch dunkler gemacht, so spaltet sich die Figur heraus (Stadium 3). Sowohl die Figur als auch das Umfeld ist aber noch blau. Um ihre Prägnanz aufrecht zu erhalten, muß die Figur unter den gegebenen Möglichkeiten diejenige wählen — man gestatte diese Ausdrucksweise —, die sie am besten hervortreten läßt; sie wird weißlicher. So-

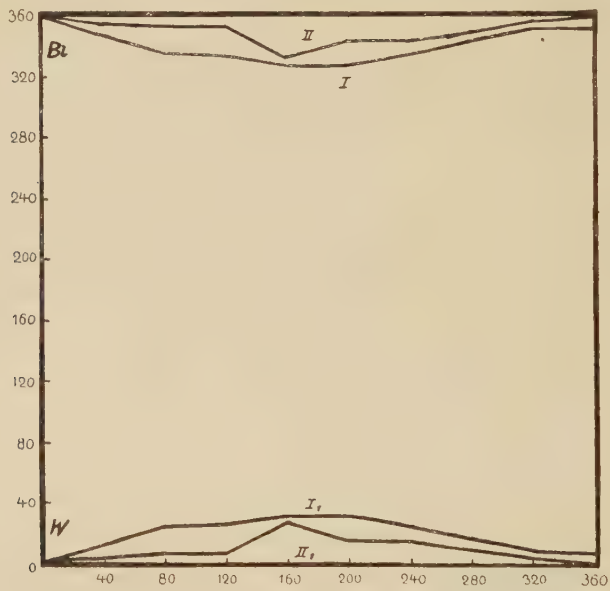

Fig. 6.
Figur hellblau (360° *W*), Beleuchtung blau. Vpn d. Verf. (*I* u. I_1), H. F. (*II* u. II_1). *Bl* = blau, *W* = weiß.

wohl das Blau als das Schwarz würde zum Stadium 2 zurückführen. Bei dem tiefschwarzen Umfeld, Stadium 4, ist es, wiederum im Hinblick auf die Prägnanz, für die Figur „sinnlos", weißlich zu sein, sie tritt jetzt ohne irgendwelche Sättigungseinbuße ihrer Farbe gegen das Umfeld gut hervor. Die Weißkurve sinkt, die Blaukurve steigt.[1]

Gemäß diesem Gedankengang kann die *W*-Valenz der Figur für den

[1] Auf welchem Wege die Prägnanz der Konstellationen erreicht wird, wird sich später herausstellen (siehe unten S. 171ff.).

Ausfall des Versuches z. T. verantwortlich gemacht werden. Wird nämlich eine sehr helle Figur gewählt, so entsteht schon bei dem weißen Umfeld (0^0S) der Eindruck einer einheitlichen Fläche; das Stadium 1 fällt aus, und die Kurven fangen beim Stadium 2 an, wenn wiederum eine sehr dunkle Figur benutzt wird, dann muß das Umfeld sehr dunkel gemacht werden, damit Figur und Umfeld verschmelzen; das Stadium 2 muß später einsetzen, bei größerer Abszisse als im Vergleichsfalle. Dieses Korollarium ist auch (Figuren 6, 7 und 8) geprüft worden.

In Fig. 6 ist eine ganz weiße Figur benutzt worden, die in der blauen Beleuchtung hellblau aussieht. Die Kurven des umgekehrten Grundes, die hier fast geradlinig verlaufen, sind nicht eingezeichnet worden; die Linien I und I_1 sind Blau- bzw. Weißkurven der Vp G. (Verf.), II und II_1, die entsprechenden Kurven der Vp H. F. Wie ersichtlich, fangen die Kurven beim Stadium 2 an, dann springt die Figur weißlich heraus (Stadium 3), um gegen das Ende wieder blau zu werden (Stadium 4). Bei 0^0S bilden Figur und Umfeld eine homogene blaue Fläche.

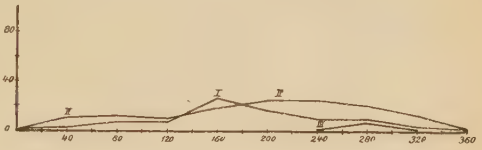

Fig. 7.
(Erklärung im Text) Vp H. F.

Die Figg. 7 und 8 geben eine vergleichende Zusammenstellung der drei Weißkurven bei Figuren verschiedener W-Valenz. Anstatt den Versuch mit der dunkelblauen Figur im ganzen graphisch zu reproduzieren,

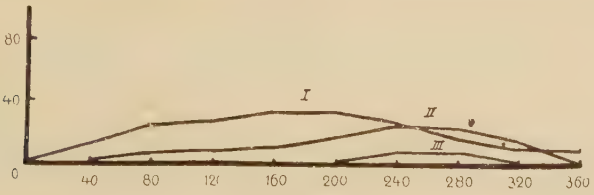

Fig. 8.
(Erklärung im Text) Vp d. Verf.

was im Prinzip nur eine Wiederholung des ersten Versuchsresultates wäre, habe ich vorgezogen die interessante Einzelheit, die W-Kurve mit den W-Kurven der anderen Reihen zusammenzustellen. Die Figuren sind in folgender Weise zusammengesetzt worden:

I 360° *W* in blauer Beleuchtung
II 180° *W* + 180° *Bl* „ „ „
III 360° *Bl* „ „ „

Das Ergebnis ist deutlich abzulesen: mit abnehmender *W*-Valenz der Figur sinken die Maxima der *W*-Kurven und werden zugleich auf die Abszisse geschoben. Wir ziehen aus diesen Kurven den Schluß, daß den vier Stadien unserer Versuchsreihen ein bestimmtes Verhältnis zwischen den *W*-Valenzen der Figur und

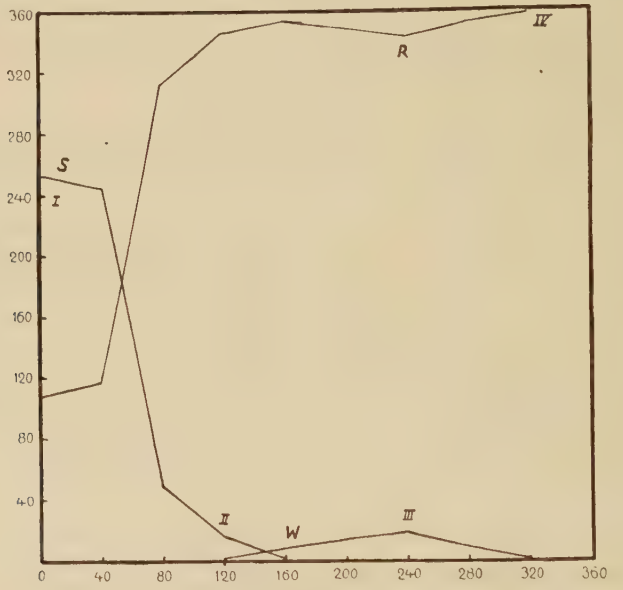

Fig. 9.
Figur (360° rot) und Beleuchtung rot. Vp H. F.
S = **schwarz,** *R* = **rot,** *W* = **weiß.**

ihres Umfeldes zugrunde liegt. Daß die Maxima der *W*-Kurven der *W*-Valenz der Figur proportional sind, wird unten (S. 177) seine Erklärung finden.

Stellen wir dieselben Reihen mit rot in roter Beleuchtung auf, so erhalten wir entsprechende Ergebnisse. In der Mitteilung (a. a. O. S. 262ff.) habe ich über Versuche berichtet, bei denen die rote Figur bei weißem Umfeld mit ihm zusammen eine einheitliche Fläche bildete, entsprechend also dem Stadium 2, nachher als weißlich ungesättigte Figur hervortrat — Stadium 3 —, um bei dem schwarzen Umfeld wieder hellrot zu werden,

Stadium 4. Die Grundkurven der umgekehrten Konstellation hatten einen sehr monotonen Verlauf, den obigen Versuchen ganz entsprechend. Hier sei nur noch ein Versuch wiedergegeben (siehe Fig. 9), bei dem eine dunkelrote Figur benutzt wurde — Ostwaldsches Rot, *W*-Valenz etwa 59° — und die Gleichungsseite mit einem roten Gelatinfilter versehen war. Durch den roten Gelatinfilter fiel Tageslicht ins Rohr (R_1). Der Versuch ist mit der Vp (H. F.) durchgeführt worden, die Versuche der Mitteilung waren mit Vp G. T. (Fig. 2) und G. (Fig. 3) gemacht. Nur die Figurkurven sind gemessen; die Ergebnisse erweisen sich schon beim ersten Blick als diejenigen der Fig. 3 und 4 sehr ähnlich. Die vier Stadien sind hier im Kurvenbild mit römischen Ziffern (*I* bis *IV*) bezeichnet worden. Anstatt die Reihe mit der umgekehrten Konstellation zu wiederholen, nahm ich einen einfachen Demonstrationsversuch vor:

Demonstrationsversuch 1. Auf der einen Seite stelle ich die rote Figur auf einem Umfeld von 240° *S* ein, auf der anderen die umgekehrte Konstellation, d. h. ein Infeld von 240° *S* auf einem Grund, der dieselbe Farbe hat wie die rote Figur. Der Punkt des weißen Maximums ist also herausgegriffen. Die beiden Seiten erscheinen in derselben roten Beleuchtung. Die Vp erhält die Aufgabe, die rote Figur mit ihrem umgekehrten Grund zu vergleichen; z. B. Figur links, Grund rechts. Ihr Urteil lautet: Die Figur ist weißlicher, die Beleuchtung auch deutlicher zu sehen auf der Figurseite. Nur um den Punkt des weißen Maximums herum gelingt der Versuch, nur dort scheint die Differenz zwischen Figur und Grund genügend groß zu sein. Wird eine andere Stelle der Abszisse gewählt, fällt es oft schwer zu sagen, ob wirklich eine Differenz da ist. Der Eindruck scheint labil zu sein, bei kleiner Differenz zwischen Figur und Grund tritt eine Art „Angleichung" ein. Der entsprechende Versuch mit hellblauer Figur und ihrem umgekehrtem Grund fällt innerhalb sehr weiter Grenzen positiv aus.

Um die Figurwirkung zur Anschauung zu bringen, kann ein Versuch gemacht werden, dem ich eine gewisse Beweiskraft zuschreibe:

Demonstrationsversuch 2. Ich stelle eine Figur von 360° *W* auf einem Umfeld von 360° *W* ein. Man sieht in der farbigen Beleuchtung eine homogene Fläche in der Farbe der jeweiligen Beleuchtung. Nachher führe ich eine Scheibe von 360° *S*, deren Radius 2 mm größer ist als der der weißen, hinter die Figur ein. Die Figur tritt hervor umgeben von einem schwarzen Ring. Zugleich wird sie ungesättigter und sieht demnach viel weißlicher aus als das Umfeld, das von der Änderung der figuralen Konstellation ganz unberührt geblieben ist. Wie im Stadium 3 unserer Versuchsreihen strebt die Figur, indem sie weißlicher wird, zur Prägnanz, sie strebt zu einer „guten Gestalt" (Wertheimer).

Versuchen wir nun den Transformationsbegriff auf die oben geschilderten Veränderungen der Figurfarben in gleichfarbiger Beleuch-

tung anzuwenden. Nach Katz soll sich die Transformation auf die Oberflächenfarben beziehen, deren Eigenfarben als Folge des transformativen Prozesses sich Beleuchtungs- und Beschattungsänderungen gegenüber innerhalb weiter Grenzen annähernd konstant erhalten würden. Auf Grund einiger schöner Versuche an Hirnverletzten hat Gelb[1] schon feststellen können, daß der Charakter einer Oberflächenfarbe keine unbedingt notwendige Voraussetzung für das Zustandekommen der Transformation bildet. Die untersuchten Patienten sahen alle Dingfarben „schwammig" flächenfarbig an, und trotzdem war die Transformation bei ihnen von so gut wie normaler Größe. „Ist einmal", sagt Gelb, „das Bewußtsein da, daß eine Farbe Gegenstandsfarbe ist, so genügt dies, damit die Erscheinungen der Farbenkonstanz unter den gewählten Bedingungen zustande kommen. Auf die spezielle Art der räumlichen Erscheinungsform kommt es dann nicht mehr an. Es ist dazu also auch nicht, wie es Katz für notwendig hält, eine möglichste Prägnanz von Oberflächenfarbigkeit erforderlich" (S. 247). Dinghaftigkeit, Gestaltcharakter, erwies sich demnach als nicht unbedingt mit Oberflächenfarbigkeit verbunden.

Unsere Versuche zeigen, daß es auch bei der Berücksichtigung der Beleuchtung nicht immer darauf ankommt, daß die Figur ihre Eigenfarbe annähernd konstant bewahrt. Wenn eine blaue Scheibe in blauer Beleuchtung ungesättigter wird, so ist dies doch eine Veränderung in der Richtung gegen die Eigenfarbigkeit des Sehdinges. Analoges wird sich auch im folgenden bei den Versuchen mit ungleichfarbiger Figur und Beleuchtung zeigen. Wir müssen daher vorläufig dem Transformationsbegriff eine allgemeingültigere Formulierung geben.

Falls man wirklich einen teleologischen Gesichtspunkt anlegen will — wie es z. B. Hering bei der Entwicklung seiner Gedanken von der Farbenbeständigkeit tut —, so scheint es mir biologisch angemessener, daß die jeweilige Figurkonstellation durch die Transformation in die Richtung auf Prägnanz verstärkt wird, als daß jene an sich sinnlosen Farben konstant gehalten würden. Zu dem Ziel, die Sehdinge konstant — und damit wiedererkennbar — zu halten, wäre die zuerst genannte Anordnung der direkte Weg, die Aufrechterhaltung der Farbenkonstanz ein Umweg.

Nicht ein Konstanthalten der Eigenfarbe der Sehdinge ist nach unserer Vorstellung die Idee der Transformation,

[1] A. Gelb, Über den Wegfall der Wahrnehmung von „Oberflächenfarben". *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* I. 1920. Bd. LXXXIV.

sondern eine möglichst eindeutige und prägnante psychische Repräsentation der reizphysikalischen Konstellation. Wir betrachten daher die Transformation als einen Ausdruck der im Prägnanzsatz formulierten Gesetzmäßigkeit.

Während Köhler (Die physischen Gestalten usw. Erlangen 1924, Kap. 5) den Prägnanzsatz mehr von der physikalisch-physiologischen Seite ins Auge faßt, und mit ihm parallele Prozesse der anorganischen Natur aufsucht, scheint Wertheimer (Psychol. Forschung. 1923. Bd. IV. S. 336ff.) die Richtung auf Prägnanz der Gestalten als einen Ausdruck einer primären biologischen Gesetzmäßigkeit aufzufassen. Dies mag nur ein vom verschiedenen Angriffspunkt bedingte Differenz sein; jedoch setzt die letztere Fassung weniger voraus. Ich werde mich daher ihr anschließen. Gegen die Köhlerschen Ausführungen über die Prägnanz hat übrigens E. Becher (Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 1921. Bd. LXXXVII. S. 43) einen nicht leicht zu beseitigenden Einwand gehoben. In seiner Komplextheorie und Gestalttheorie (Göttingen 1923, § 12) gibt G. E. Müller dem Prägnanzsatz folgende Formulierung: „Die Tendenz zu einer Gestalt, für welche gemäß ihrem symmetrischen Aufbau und ihrer relativen Einfachheit eine höhere originäre Leichtigkeit der kollektiven Auffassung besteht, und deren zugehörige Kollektivdisposition demgemäß relativ leicht erweckt werden und zur Verhinderung einer ganz sachgemäßen Auffassung einer dargebotenen Figur dienen kann“ (S. 53). Auch diese Fassung setzt eine bestimmte Theorie voraus, die Komplextheorie G. E. Müllers, und engt daher das Geltungsbereich des Prägnanzsatzes vorzeitig ein. — Oben (S. 163) habe ich schon meine Stellungnahme zum Prägnanzsatz präzisiert; er ist für mich hauptsächlich ein Leitfaden für das Herausexperimentieren der von ihm ausgedrückten speziellen Gesetzmäßigkeiten gewesen, ein Gesetz, dessen nähere Erklärung noch nicht genügend allseitig fundiert werden kann.

Die Stärke der Transformation hat man gewöhnlich in der Weise bestimmt, daß der Sektorenwert der Eigenfarbe eines Sehdinges nach der vollständigen Reduktion vom gleichen Wert bei der Transformation abgezogen wurde. Die Differenz beider Werte ergab so ein Maß für die Stärke der transformativen Veränderung. Bei meinen Versuchen könnte man in derselben Weise verfahren. Den Sektorenwert der Eigenfarbe nach der vollständigen Reduktion könnte man — wenigstens mit großer Annäherung — derjenigen Gleichung entnehmen, bei der Figur und Umfeld in der gleichfarbigen (isochromen) Beleuchtung eine einheitliche Fläche bilden (Stadium 2), denn diese Gleichung ist gemäß unserer Versuchsanordnung als vollständig reduziert — im Sinne Katz — anzusehen. Indessen müßte man hinzufügen, daß ein solches Verfahren kein ad-

äquates Bild der transformativen Veränderung ergeben würde. Denn diese ist, wie oben (S. 168) ausgeführt wurde, nicht immer im Sinne einer Verstärkung der Eigenfarbe ausgefallen. Das könnte jedoch einfach so berücksichtigt werden, daß man die addierten Werte der Reduktionsgleichung von den ebenfalls addierten Werten jeder einzelner Transformationsgleichung von 0^0 bis 360^0 S in Abzug brächte. Aber auch in der so modifizierten Form würde diese Berechnungsmethode ein verzerrtes Bild der Transformation bei den verschiedenen Umfeldern geben. Der Kontrast ist nämlich dabei nicht mitberücksichtigt. Schon in der Einleitung wurde im Anschluß an einige prinzipiellen Erörterungen (S. 153) gezeigt, daß dieser Faktor mit in Betracht gezogen werden muß, falls man das Resultat physiologisch einwandfrei gestalten will. An Hand eines Beispieles wird dies sich noch klarer herausstellen: Man betrachte die Fig. 3. Die Reduktionsgleichung bei 120^0 S (Stadium 2) wäre: 233^0 Bl + 118^0 S + 9^0 W. Würde man jetzt nach dem obigen Verfahren die Transformationsstärke für die Figur bei 0^0 (Stadium 1) und 360^0 S (Stadium 4) bestimmen, so erhielte man:

$X = 0^0\ S$;
$(120^0\ Bl + 240^0\ S) - (233^0\ Bl + 118^0\ S + 9^0 W) = -113^0\ Bl + 122^0\ S - 9^0 W$

bzw. $X = 360^0\ S$;
$360^0\ Bl - (233^0\ Bl + 118^0\ S + 9^0\ W) = +\ 127^0\ Bl - 118^0\ S - 9^0\ W$,

wobei natürlich die + -Werte die Transformationsstärke widerspiegeln würden, denn bei 0^0 S hebt ja die Figur sich als dunkel (+ 122^0 S), bei 360^0 S als blau (+ 127^0 Bl) vom Umfeld ab. Vergleicht man aber nachher die Figurwerte mit den Werten des Grundes der umgekehrten Konstellation — die gestrichelten Kurven —, die ja reduziert und zugleich unter denselben kontrastiven Bedingungen wie bei der Figur eingestellt sind, so wird das Ergebnis ein ganz anderes. Dies kann man sich gut zur Anschauung bringen, indem man die Differenzen[1] zwischen den Werten der Figur und ihres umgekehrten Grundes für dieselben X-Werte bestimmt:

X $0^0\ S$; $(240^0\ S + 120^0\ Bl) - (100^0\ S + 260^0\ Bl)$ $+ 140^0 S - 140^0\ Bl$

bzw. $X = 360^0\ S$; $360^0\ Bl - 360^0\ Bl = \pm\ 0^0$,

[1] Daß das Verfahren die Transformationsstärke als Differenz zwischen reduziertem und transformiertem Wert zu berechnen nicht unanfechtbar ist, wird sich später (S. 195) herausstellen. Solange eine konstante Beleuchtungsstärke gebraucht wird, ist es jedoch anwendbar.

Das Ergebnis ist m. a. W., daß bei dem weißen Umfeld (0° *S*) die Figur in der Richtung der tatsächlich vorkommenden Induktion um 140° *S* transformativ verdunkelt wird, im Verhältnis zum umgekehrten annähernd gleichen Kontrastbedingungen ausgesetzten Grund, und daß ferner bei dem ganz dunklen Umfeld (360° *S*) keine Transformation vorkommt. Mit den phänomenalen Tatsachen stimmt das gut überein, denn, wie gesagt waren beide, Figur und umgekehrter Grund, bei dem dunklen Umfeld leuchtend blau und die farbige Beleuchtung überhaupt nicht sichtbar. Da die Transformation eben eine Art „Beleuchtungsreaktion" ist, läßt sich nicht einsehen warum, wenn die Farbigkeit der Beleuchtung abnimmt, sie ausgeprägter werden sollte, wie es die erste, bisher gebräuchliche Berechnungsmethode ergab. Gerade umgekehrt muß es sich verhalten, was durch das hier von uns angewendete Verfahren deutlich zum Ausdruck kommt. Nehmen wir noch den Punkt des weißen Maximums (Stadium 3), wo die farbige Beleuchtung besonders deutlich zu sehen war. Die Transformationsstärke nach derselben Methode berechnet (Fig. 3) ist:

$X = 240^0\ S;$

$(24^0\ W + 22^0\ S + 314^0\ W) - (43^0\ S + 317^0\ Bl) = +\ 24^0\ W - 21^0\ S - 3^0 Bl.$

Das heißt, die Transformation ist mit + 24° W zustande gebracht. Dabei ist zu bemerken, daß dieser an sich kleine Weißzusatz die Figur phänomenal sehr deutlich verhüllt, was vermutlich mit dem „antichromatischen Einfluß des Weiß" (G. E. Müller) zusammenhängt.[1]

Unser Verfahren, die Stärke und Richtung der Transformation zu bestimmen, ist wie ersichtlich im großen und ganzen nur eine Konsequenz der Methode der umgekehrten Konstellationen. Ich hoffe dargetan zu haben, daß es wirklich ein richtiges Bild der isochromen Transformation[2] gibt. Auf eine Voraussetzung muß noch kurz eingegangen werden. Durch Einführung der Methode der umgekehrten Konstellationen ist erreicht worden, daß die transformierte Farbe annähernd denselben kontrastiven Bedingungen ausgesetzt wird wie die reduzierte. Nun muß aber dabei der Grund de facto reduziert gesehen

[1] Wie wir unten (S. 177f.) sehen werden, ist der Weißzusatz zur Gleichung nur ein Mittel um die Entsättigung der Figurfarbe darzustellen.

[2] Ich werde im folgenden die Termini „isochrome", „heterochrome" und „achrome" Transformation benutzen, wenn Figur und Beleuchtung als gleichfarbig bzw. ungleichfarbig oder beide als der *S*-*W*-Reihe angehörend bezeichnet werden können.

werden; es kann nicht einfach eine kleine Scheibe auf einer größeren eingestellt werden, um diese zu reduzieren. Die größere Scheibe muß durch das Loch eines Reduktionsschirmes betrachtet werden; — in unserer Versuchsanordnung wurde dieser Forderung durch Anwendung des Diaphragma (*D*) genügt. — Anderenfalls können beide, Figur und Umfeld, transformative Veränderungen aufweisen, da beide vielleicht in der Figur miteingehen. Nur als Lochfarbe kann der umgekehrte Grund als reduziert angesehen werden; das auf ihm dargebotene Infeld stört nicht — wie es nach RUBINS Untersuchungen auch zu erwarten war — den Eindruck der Flächenfarbigkeit des Grundes. Immerhin fällt diese Art der Reduktion nicht ganz unter den KATZschen Begriff der „vollständigen" — oder sagen wir — absoluten Reduktion (vgl. oben S. 147ff.). „Physiologische" Reduktion könnte unser Verfahren genannt werden, weil es (vgl. oben S. 153) als physiologisches Postulat aufgestellt worden ist, oder „Hintergrundsreduktion" im Hinblick auf die sie auch fundierenden Tatsachen des Figur-Grund-Unterschiedes. Am besten scheint mir jedoch der neutralere und zugleich zutreffende Ausdruck „relative Reduktion", der auch im folgenden benutzt werden soll. Bei der absoluten Reduktion soll die Beleuchtung in die reduzierte Farbe vollständig miteingehen, bei der relativen kann bald ein deutlicher Beleuchtungseindruck erhalten werden.

Genaue Berechnungen der Transformationsstärke auf Grund der bei der relativen Reduktion erhaltenen Werte lassen sich meines Erachtens an Hand der genannten Konstellationen nicht ausführen. Die Versuche sind immer in der Reihenfolge gemacht, daß zuerst alle Figurgleichungen, dann alle Grundgleichungen für jede Reihe aufgestellt worden sind. Sie geben daher nur eine Übersicht der verschiedenen Verhaltungsweisen der Figur und ihres umgekehrten Grundes. Um die Transformationsstärke genau zu bestimmen, ist es natürlich notwendig, jede Gleichung zum mindestens fünfmal zu kontrollieren, zuerst fünf Figurwerte, dann die fünf Werte des zugehörigen umgekehrten Grundes, damit Figur und Grund auch unter möglichst gleichen Versuchsbedingungen gemessen würden. Mir aber kam es hier nur darauf an, die „Richtung" der Transformation zu bestimmen, die den Kurven leicht zu entnehmen ist. Auf eine genaue Messung der Transformationsstärke für jede Konstellation mußte verzichtet werden; sie würde für jede Versuchsreihe etwa 200 Werte erfordern; jeder Wert wiederum mehrmalige Einstellungen auf dem Kreisel.

Wenden wir uns nunmehr der theoretischen Erklärung der isochromen Transformation zu. Oben (S. 163) wurde die allgemeine Forderung aufgestellt, daß die im Prägnanzsatz festgestellte Gestaltbedingt-

heit im Hinblick auf die ihm unterliegenden Einzelfunktionen näher charakterisiert werden müßte. Es war schon ein Schritt auf diesem Wege, als sich herausstellte, daß die vier verschiedenen Prägnanzstadien an ein bestimmtes Verhältnis der Weißvalenzen von Figur und Umfeld gebunden waren (vgl. oben S. 165ff.). Nur unter Berücksichtigung dieser Tatsache konnten wir mit Hilfe des Prägnanzsatzes einige experimentellen Ergebnisse voraussagen (die relative Lage der weißen Maxima). Daß die „Tendenz zur Prägnanz der Gestalt", wenngleich zu einem wirkenden Prinzip erhoben, allein alle unsere Befunde restlos erklären würde, scheint mir schon deshalb nicht angenommen werden zu dürfen, weil dann nicht einzusehen wäre, warum z. B. beim Stadium 3 das weiße Maximum sich nicht als eine plötzliche, steile Steigerung kundgibt; wäre es doch in diesem Fall für das prägnante Auffassen der Figur günstig, das sie unter den gegebenen Bedingungen sogleich in maximaler Entsättigung erscheinen würde, d. h. die Weißkurve müßte vom Stadium 2 ab plötzlich in die Höhe gehen.[1] Sie steigt aber stets in langsamer Kontinuität. Daraus ergibt sich die Forderung, die Ergebnisse zuerst mit der einzigen kontinuierlichen Veränderung der Versuchreihe — der von 0^0 bis 360^0 *S* — in Zusammenhang zu bringen. Vielleicht genügt dies schon zur Erklärung; die vier Stadien sind ja wirklich auch durch eine Zu- oder Abnahme der Schwärzlichkeit, bzw. Weißlichkeit zu charakterisieren.

Um wieder ein konkretes Beispiel ins Auge zu fassen, nehmen wir Fig. 3. Der dort wiedergegebene Versuch kann gut als Prototyp für die isochrome Transformation gelten, wie sie sich in unserer Versuchsanordnung darstellt; Stadium 1: Daß die Schwarzkurve beim weißen Umfeld (0^0 *S*) im Verhältnis zur Blaukurve hoch steht, scheint auf Verstärkung der tatsächlich vorkommenden *S*-Induktion seitens des Umfeldes zu beruhen. Stadium 2: wenn das Umfeld nachher weniger weiß gemacht, indem sein Schwarzsektor vergrößert wird, kann in Folge davon die *S*-Induktion abnehmen und die Figur demnach an Dunkelheit verlieren.[2] Ihre blaue Farbe kann jetzt unverhüllt hervortreten.

[1] Derartige plötzliche Umschläge im gestalteten Eindruck sind wiederholt beobachtet worden. Vgl. z. B. Rubin (a. a. O. § 4) über Figurgrundwechsel. M. Wertheimer, Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* I. 1912. Bd. LXI, sowie E. Lindeman, Experimentelle Untersuchungen über das Entstehen und Vergehen von Gestalten. *Psychol. Forschung.* 1922. Bd. II.

[2] Daß dies nicht sogleich eintreffen muß, zeigen die Verhältnisse beim umgekehrten Grund (vgl. oben die Kurven).

Figur und Umfeld kommen einander näher in bezug auf die Farbe. Bei einem bestimmten Verhältnis der Weißvalenzen des Umfeldes und der Figur müssen die Bedingungen für das „Verschmelzen" besonders günstig liegen. Dann bilden sie eine einheitliche Fläche. Vermutlich spielt auch eine „Angleichung" im Sinne Fuchs dabei eine nicht näher zu bestimmende Rolle; jedenfalls ist der Schluß nicht ohne weiteres — die Gläser waren ja nicht absolut spektralrein — berechtigt, daß sie verschmelzen müssen. Berechtigt sind wir nur anzunehmen, daß sie beim „Koinzidenzpunkt[1] einander am ähnlichsten sein müssen. Für eine „farbige Angleichung" zwischen Figur und Umfeld spricht auch die Tatsache, daß das Stadium 2 sich nicht als bestimmter X-Wert der Abszisse fixieren läßt, sondern vielmehr am richtigsten durch eine „Koinzidenzstrecke" wiedergegeben wird. Dies kommt in den Kurven nicht zum Vorschein, weil nur jeder vierzigste Grad bestimmt worden ist[2]; Stadium 3: wenn der Schwarzsektor des Umfeldes eine weitere Vergrößerung erfährt, kann die Differenz zwischen Figur und Umfeld nicht mehr durch Angleichung ausgeglichen werden. Die Figur muß sich von der Umgebung abheben. Nun ist es eine kontrasttheoretisch naheliegende Annahme, daß das blaue Umfeld seine Gegenfarbe in die Figur zu induzieren strebt. Diese Induktion muß wiederum das Blau der Figur abschwächen, und dabei die W-Valenz des blauen Papiers hervortreten lassen, denn sie ist ja auch Gegenfarbe zum Blau der Figur. Warum steigt aber die Weißkurve der Figur kontinuierlich zu ihrem Maximum, da doch das Blau des Umfeldes schon von 120° S anfangs langsamer, dann schnell abnimmt[3] und man somit erwarten müßte, daß die antagonistische Induktion wenigstens nicht zunehmen könnte? Offenbar, weil das Umfeld zugleich dunkler gemacht wird, und die Figur somit kontrastiv aufhellt. Die Form der Weißkurve des Stadiums 3 wäre demnach von zwei in derselben Richtung wirkenden Faktoren bedingt; der eine, die vom blauen Umfeld ausgehende antagonistische Induktion, scheidet von 120° bis 240° S an verhältnismäßig langsam aus, während der andere, der von der Vergrößerung des S-Sektors veranlaßte subjektive W-Zusatz zur Figur, zunimmt. Von dem ersten rührt die Entsättigung her, von dem zweiten wird die Sättigungsabnahme in der Richtung auf einer Verhüllung mit Kontrastweiß noch befördert.

---

[1] Mit Ackermann (*Psychol. Forschung.* 1924. Bd. V. S. 58) werden wir den Punkt der Gleichheit von Figur und Umfeld „Koinzidenzpunkt" nennen.

[2] Diese Koinzidenzstrecke kann etwa 20° oder sogar mehr umfassen.

[3] Dies habe ich am Umfeld messend kontrolliert.

Wenn aber von 240° *S* ab das Umfeld schnell dunkler wird und an Bläulichkeit verliert, nimmt gleichfalls die Wirkung der vom Blau ausgehenden Induktion schnell ab; die Figur wird daher wieder gesättigter (Stadium 4). Allmählich mehr und mehr allein vorherrschend kann der zweite Faktor, der subjektive Weißzusatz, auf das Abfallen der Weißkurve nur noch einen verzögernden Einfluß ausüben; eine Entsättigung der Figur, wie dies die antagonistische Induktion seitens des Blau bewirkte, kann er nicht weder zustande bringen, noch aufrecht erhalten. Zwar wirkt er aufhellend auf die Figur; diese erscheint aber trotzdem bei dem Stadium 4 in hoher Sättigung vor dem fast schwarzen Umfeld. Die leuchtende hellblaue Farbe der Figur ist dort nicht durch Weißzusatz zur Figurgleichung wiederzugeben, denn das würde nur ein ungesättigtes Blau ergeben, das der Figurfarbe des Stadium 3 gut entspricht, aber nicht hierher paßt. Eine treffende Gleichung kann beim Stadium 4 nur durch Vergrößerung des Blausektors hergestellt werden.

Was die Gleichungen überhaupt anbelangt, ist erwähnenswert, daß die Blaukonstellationen für Weißzusatz sehr empfindlich waren, so daß die weißen Maxima phänomenal bedeutende Sättigungsabnahmen repräsentieren. Der Schwarzsektor mußte aber — und zwar trifft dies wenigstens für Rot und Blau zu — erheblich vergrößert werden, um innerhalb der ersten 100° den Eindruck phänomenal zu verändern. Wenn einmal der S-Sektor eine bestimmte Größe, etwa 120, überstieg, wurde aber jede — auch jede kleine — Vergrößerung für den Eindruck von Belang. Daraus folgt, daß die Stadien 2 und 4 tatsächlich einander viel näher stehen als dies die Kurven veranschaulichen, denn die Schwarzkurve hat schon beim Stadium 2 sehr wenig zu besagen. Von dem phänomenalen Gesichtspunkt aus, wäre dies von vornherein zu erwarten; die Figur springt in den beiden Fällen direkt aus einer fast lichtlosen Umgebung heraus, beim Stadium 2 dem lichtlosen Diaphragma (Figur und Umfeld bilden ja eine Fläche), beim Stadium 4 dem schwarzen Umfeld. Wenn man dies beachtet, stellt sich das Kurvenbild der Vp C. G. (Fig. 5 S. 161ff.) als das mit den Tatsachen am besten übereinstimmende heraus, was auch schon oben hervorgehoben worden war. Auch in Fig. 9 (rote Konstellation) stehen die Stadien 2 und 4 einander sehr nahe.

Es scheint demnach, als könnte die Verhaltungsweise der Figurkurven mit Hilfe schon bekannter Faktoren erklärt werden. Für die Stadien 1, 3 und 4 habe ich den Kontrast herangezogen, für das Stadium 2 schien es mir notwendig, auch eine „Angleichung" unter dem Einfluß der Gestalt mitzuberücksichtigen. Nun sahen wir oben (S. 161ff.), daß der Verlauf der Kurven des umgekehrten Grundes auch unter Annahme einer Kontrastwirkung erklärbar war. Ebenfalls kam dort dieselbe „An-

gleichung" beim Stadium 2 zum Vorschein. Dies stellt uns vor eine entscheidende Frage: warum verlaufen die Kurven des Grundes der umgekehrten Konstellation nicht so wie die der zugehörigen Figur, sind doch in den beiden Fällen die wirkenden Mechanismen dieselben. Und der Kontrast soll ja eine „Wechselwirkung" sein und daher Figur und umgekehrten Grund gleich beeinflussen. Die Antwort ist schon gegeben: weil die Figur Figur ist. Die Kontrastwirkung ist keine Wechselwirkung im gewöhnlichen Sinn des Wortes.[1] Sie wird zur Herstellung prägnanter Figurkonstellationen — sagen wir einmal — ausgenutzt. Sie wird einer höheren Gesetzmäßigkeit untergeordnet, der Tendenz zur Prägnanz. Darum fällt auch die Induktion für Figur und Grund verschieden aus. Für die Grundkonstellation wird nicht die antagonistische Induktion seitens des Blau „in Anspruch genommen", weil für die Prägnanz der Konstellation belanglos. Das Stadium 3 der Entsättigung fällt daher aus. Beim Stadium 1 tritt bei der Grundkonstellation keine Steigerung der *S*-Induktion auf; sie hätte keine Aufgabe beim Gestalterfassen zu erfüllen. Die Angleichung unter dem Einfluß der Gestalt (Stadium 2) ist in den beiden Konstellationen zu finden, denn es muß ja im Hinblick auf sie gleichgültig sein, ob das konstante Feld als Figur oder Grund erscheint. Beim Stadium 4 endlich, wo ein schwarzes Feld an einem blauen angrenzt und die farbige Beleuchtung nicht sichtbar ist, liegen wiederum die Verhältnisse für Figur und Grund gleich. Die berechnete Transformationsstärke ist dort 0.

Es sind also nur die Stadien 1 und 3, die den „Figurkontrast" vom „Grundkontrast" unterscheiden. Von diesen kommt im Stadium 1 die Differenz nur als eine Verstärkung der tatsächlich vorhandenen *S*-Induktion heraus; im Stadium 3 findet sich aber in den Figurkonstellationen ein kontrastives Geschehen, das nur in einem Fall (Fig. 5) auch in den Grundkonstellationen angedeutet worden ist. Es ist dies die

[1] Dies betont auch Köhler (a. a. O. *Psychol. Forschung* S. 411) von seiner physikalischen Theorie der Nervenvorgänge ausgehend: „es kann — entgegen z. B. der Heringschen Induktkonstruktion bei der es auf spezifische Raumgestaltung überhaupt nicht ankommt — nur Kontrast geben, der innerhalb eines in allen seinen Eigenschaften zusammen auf stationäre Lagerung tendierenden Gesamtvorgangs auch die Bestimmung lokaler Farbprozesse von dem Geschehen im ganzen abhängig zeigt, und zwar so, daß gerade diese Farbverteilung innerhalb der entstehenden Gruppierung überhaupt einen stabilen Gesamtzustand aufrechterhalten hilft" (teilweise von mir gesperrt).

Induktion einer zur Beleuchtung komplementären Farbe, die in der mit der Beleuchtung isochromen Figur Entsättigung bewirkt. Dieses Stadium der Entsättigung werden wir unten in allen Fällen der isochromen Transformation wiederfinden. Als nachgewiesen dürfen wir wohl ein für allemal betrachten, daß es — wenigstens hauptsächlich — an der Figur gebunden ist, an transformierter Farbe.

Daß die Entsättigung auf Neutralisierung mit Komplementfarbe beruht, ist natürlich nicht streng zu beweisen, erhält aber weitere Bestätigung aus dem oben (S. 165) beschriebenen Verhalten der weißen Maxima bei Figuren verschiedener Weißvalenz. Wir fanden ja (Figg. 7 und 8), daß die weißen Maxima des dritten Stadiums mit der Steigerung der *W*-Valenz der blauen Figur sich vergrößerten. Nun setzt die Annahme antagonistischer Valenzen der Komplementfarben voraus, daß diese einander gegenseitig hemmen[1], wobei die *W*-Valenzen der Farben allein zum Vorschein kommen. Wenn daher — wie in unserem Fall — die gleiche kontrastive Neutralisierung auf Infelder verschiedener *W*-Valenz erfolgt, so muß ein an sich weißeres Infeld nach der Neutralisierung weißer aussehen als ein dunkleres. Die Vergrößerung der weißen Maxima bei Steigerung der *W*-Valenz der Figurfarbe fügt sich somit der Annahme einer antagonistischen Induktion seitens des Umfeldes gut ein. Das Weiß wäre als ein Restphänomen zu betrachten.

Mit der Annahme einer maximalen antagonistischen Induktion beim Stadium 3 stimmt auch gut überein, daß der farbige Simultankontrast — wie Eberhardt[2] nachgewiesen hat — bei Helligkeitsgleichheit zwischen den angrenzenden Feldern am stärksten ist.

V. Die heterochrome Transformation.

Ich führe zuerst einen Versuch vor, der gewissermaßen einen Übergang darstellt von der isochromen zur heterochromen Transformation. Figur und Beleuchtung sollen ungleichfarbig sein. Der Versuch verläuft mutatis mutandis wie die früheren. Eine gelbe Figur — *W*-Va-

[1]) Vgl. dazu G. E. Müller, Psychophysik der Gesichtsempfindungen I. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* I. 1896. Bd. X. S. 321ff. § 14. Auch Strohal, Versuche zum Nachweis des Antagonismus von Netzhauterregungen. *Ebenda* II. 1916. Bd. XLIX.

[2] M. Eberhardt, Untersuchungen über Farbschwellen und Farbenkontrast. *Psychol. Forschung.* 1924. Bd. V. S. 114ff.

lenz etwa 120° — erscheint in der Beleuchtung des Orange-Gläschens. Die Gleichungen sind in Tagesbeleuchtung hergestellt mit Gelb (*G*), Rot (*R*), Schwarz (*S*) und Weiß (*W*). Die Kurven des umgekehrten Grundes sind wieder gestrichelt (siehe Fig. 10).

Von diesen letzteren ist nichts besonderes zu sagen. Ihr Verlauf zeigt eine gewisse Unsicherheit, die auch in den Äußerungen der Vp wiederkehrte. Sie konnte nicht immer sagen, ob es notwendig sei, zu jeder Neu-

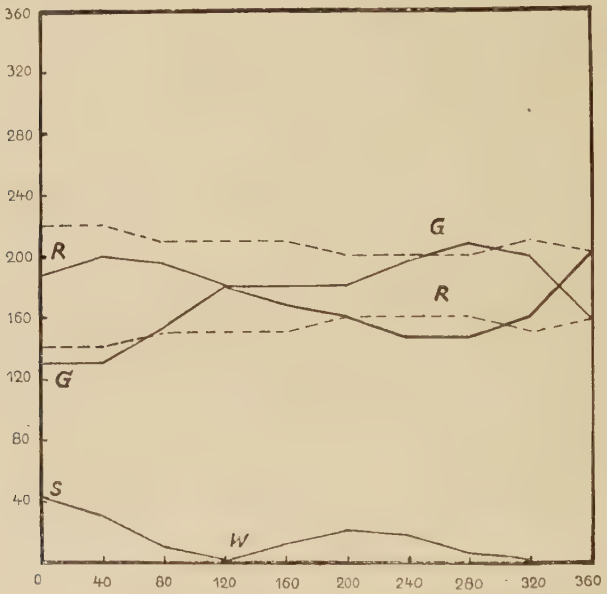

Fig. 10.
Figur gelb, Beleuchtung orange. Vp T. F.
R = rot, *G* = gelb, *S* = schwarz, *W* = weiß.

einstellung des Infeldes (die Konstellation war ja eine umgekehrte) eine Änderung der Gleichung vorzunehmen. Die kleinen Verschiebungen sind mehr als Proben aufzufassen; nur so viel ist sicher, daß die Rotkurve gegen das Ende der Abszisse allmählich sinkt. Es scheint als begünstige der subjektive Weißzusatz das Gelberscheinen der Figur. Der psychologische Grund der unregelmäßigen Verschiebungen ist wohl darin zu suchen, daß die Figurgleichungen zuerst eingestellt wurden. Da die Vp dabei von Gleichung zu Gleichung große Umstellungen vornehmen mußte, erwartete sie bei den Grundmessungen das gleiche zu finden.

Die Figurkurven verlaufen bei dieser Konstellation in recht komplizierter Weise. Wiederum schließt sich zweckmäßig eine Übersicht ihrer

Verhaltungsweisen den phänomenalen Tatsachen eng an. Stadium 1: Bei dem weißen Umfeld hebt sich die Figur rötlich braun hervor. Nun wissen wir seit Hering, daß man eben Braunnuancen erhält, wenn rotgelbe Farben einer *S*-Induktion ausgesetzt werden, so daß das Kurvenbild mit der Annahme einer Verstärkung der tatsächlich vorhandenen *S*-Induktion gut erklärt werden kann. Die Gleichung ist nicht einwandfrei, denn das Braun könnte ja nur durch Hinzufügen von Schwarz auf nicht-induktivem Wege erreicht werden. Folgende Gleichung gibt die Richtung und Stärke der Transformation an:

$X = 40^0\ S;$

$(130^0\ G + 42^0\ S + 188^0\ R) - (140^0\ G + 220^0\ R) = +42^0\ S - 10^0 G - 32^0\ R.$

Daß die Rotkurve bei $0^0\ S$ niedriger steht als bei $40^0\ S$ muß auch von der S-Induktion abhängen. Hätten wir ein noch weißlicheres Umfeld benutzen können, so würde sich das Stadium 1 der Braunprägnanz in ein Stadium der Schwarzprägnanz verwandelt haben. Eben dies ist im Kurvenbild schon angedeutet.

Stadium 2 findet sich bei $80^0\ S$. Dort verschmelzen in der Tat Figur und Umfeld wieder zu einer homogen gefärbten, einheitlichen Fläche, ganz wie bei der reinen isochromen Transformation. Da aber jetzt die Differenz zwischen Figurfarbe und Beleuchtungsfarbe erheblich größer ist als bei den isochromen Konstellationen, so ist der Annahme einer farbigen Angleichung — die uns schon oben zur Erklärung dieses Prägnanzstadiums plausibel erschien — kaum mehr zu entgehen. Für Figur und umgekehrten Grund müssen ja die Gleichungen hier annähernd gleich ausfallen. In der Grundgleichung ist 15^0 mehr Rot, was sehr wenig bedeutet, wenn man von einer Ausgangsfarbe von etwa 200^0 Rot ausgeht.

Das Stadium 3 stellen wir wieder als weißes Maximum fest bei $200^0\ S$, wo also die Figur in ungesättigtem Orange hervortritt. Die Transformation ist mit $+\ 20^0\ W$ erreicht worden. — Wir erklären das wie bei den isochromen Konstellationen mit Hilfe der antagonistischen Induktion seitens der Umfeldfarbe; nur ist hinzuzufügen, daß die Weißkurve auf Kosten des Rots gestiegen ist. Das erscheint selbstverständlich bei Annahme der Gegeninduktion, wenn man bedenkt, daß das Rot eben die dominierende Farbe der Beleuchtung ist (vgl. die spektralphotometrischen Analysen der Gläser S. 157). Die vom Rot der Beleuchtung ausgehende Grün-Induktion schwächt kontrastiv das Rot der Figur ab. Wahrscheinlich wirkt auch das Gelb der Beleuchtung gleicher-

weise entsättigend auf die entsprechende Farbe der Figur, anderenfalls würde sie wohl als gelblich hervortreten.

Stadium 4: Bisher gingen die Ergebnisse dieser Versuchsreihe mit denen der früheren parallel. Würde diese Parallele sich noch weiter erstrecken, so müßte die Rotkurve vom Punkt des weißen Maximums bis gegen das Ende der Abszisse kontinuierlich ansteigen. Aber ganz im Gegenteil sinkt sie, und die Gelbkurve steigt. Wie ist das zu erklären?

Die Versuchsbedingungen unterscheiden sich von denen der früheren Versuche insofern, als die Beleuchtung aus zwei Komponenten statt einer besteht, von welchen die dominierende, das Rot, von vornherein in der Figur nicht vertreten ist. Letztere ist ja aus gelbem Papier ausgeschnitten worden, und eben diese Farbe, die Eigenfarbe der Figur, kommt hier zum Vorschein. Mir scheint als würden unsere frühere Annahmen bezüglich des Kontrastes genügen, um das zu erklären: als stärkere Beleuchtungsfarbe wird sich das Rot länger als Umfeldfarbe behaupten — in derselben Richtung wirkt möglicherweise auch die Tatsache, daß das Gelb spezifisch sehr hell ist — und kann daher bei ziemlich dunklem Umfeld seine neutralisierende Induktion auf das Rot der Figur ausüben. Nun hat diese Induktion nur die von der Beleuchtung herrührende Rötlichkeit der gelben Figur zu überwinden, während das bei diesem Umfeld sehr schwache Beleuchtungsgelb sowohl das Beleuchtungsgelb der Figur als auch ihre ebenfalls gelbe Eigenfarbe zu kompensieren hat, wozu seine induktive Kraft lange nicht ausreichend ist. Das restierende Gelb tritt daher als Figurfarbe hervor. Zum erstenmal stoßen wir hier auf eine Transformation ganz im Sinne des klassischen Transformationsbegriffes, eine Akzentuierung der Eigenfarbe des Sehdinges. Wir fassen auch sie gewissermaßen als ein Restphänomen: wenn die Beleuchtungsfarbe des Umfeldes die entsprechende von der Beleuchtung ebenfalls herrührende Farbe der Figur induktiv neutralisiert, tritt die restierende Eigenfarbe der Figur hervor, vorausgesetzt, daß das Beleuchtungsgläschen derartige Strahlen durchläßt. Daß die Figurfarbe nicht schon beim Stadium 3 der Entsättigung deutlich hervortrat, beruhte darauf, daß bei der dort gegebenen Umfeldhelligkeit das Beleuchtungsgelb stark genug war, um eine kräftige Neutralisierung im Infelde ausüben zu können. Nehmen wir eine Konstellation, bei der die Figurfarbe in der Beleuchtungsfarbe mit einer kleineren Prozentzahl vertreten worden ist, so fällt das Stadium der Entsättigung aus (vgl. unten S. 182ff.).

Stadium 5: wenn das Umfeld bei 360° *S* fast lichtlos wird und von der farbigen Beleuchtung daher nur keine Spur mehr wahrzunehmen ist, steigt die Rotkurve, während die Gelbkurve sinkt. Somit wird wieder die mit dem farbigen Gläschen gegebene Proportion zwischen Rot- und Gelbsektor der Gleichung hergestellt. Figur- und Grundkurven stehen gleich hoch, eine Transformation ist nicht zu konstatieren. Die Verhältnisse liegen hier ganz so wie bei dem letzten Prägnanzstadium (4) der reinen isochromen Transformation und sind auch in derselben Weise zu verstehen.

Wie wir schon oben bemerkten, stellt dieser Versuch gewissermaßen eine Übergangsform zwischen der heterochromen und der isochromen Transformation dar. Für die heterochrome Transformation typisch ist das Hervortreten der „Eigenfarbe des Sehdinges", für die isochrome das Stadium der Sättigungseinbuße. Beide Stadien fanden wir hier wieder. Dem Auftreten dieser gemischten Transformationsform liegt als reizphysikalische Bedingung zugrunde, daß Figur und Beleuchtung sehr wenig verschieden sind, so daß sie auch eine Komponente gemeinsam haben. Wir versuchen die reizphysikalischen Bedingungen der verschiedenen Transformationsformen schematisch darzustellen:

Für die isochrome Transformation wäre das Verhältnis

$$\frac{\text{Beleuchtungsfarbe}}{\text{Figurfarbe}} \text{ etwa } = \frac{95 \text{ Proz. Rot} + 5 \text{ Proz. Gelb}}{92 \text{ Proz. Rot} + 8 \text{ Proz. } x},$$

wobei x Verunreinigungen der Figurfarbe bezeichnen würde.

Für die oben untersuchte Konstellation, wobei die Figurfarbe gelb, die Beleuchtung orange war, hätten wir etwa

$$\frac{35 \text{ Proz. Gelb} + 55 \text{ Proz. Rot} + 10 \text{ Proz. Grün}}{90 \text{ Proz. Gelb} + 10 \text{ Proz. } x}.$$

Die Transformationsform wäre die gemischte.

Benutzen wir nun dasselbe Gelb der Figur, stellen aber die Beleuchtung mit dem Grünglas her, so hätten wir etwa

$$\frac{80 \text{ Proz. Grün} + 15 \text{ Proz. Gelb} + 5 \text{ Proz. Blau}}{90 \text{ Proz. Gelb} + 10 \text{ Proz. } x},$$

d. h. ein ziemlich reines Grün, das jedoch gelbe Strahlen durchläßt, und die Transformation würde sich als typisch heterochrom darstellen. Figur und Beleuchtung sind zu verschieden, um bei den gebrauchten Umfeldern verschmelzen zu können, das Stadium der gegenfarbigen Induktion, bei dem sich die Figur ungesättigt hervorhebt, fällt daher aus und die Transformation schlägt einen anderen Weg ein. Figural war das Stadium des

weißen Maximums ja so zu verstehen, daß eben die Induktion der Komplementärfarbe mit ihrer Folgeerscheinung, Entsättigung der Figur, den einzigen Weg zur kontrastiven Aufrechterhaltung der Figurprägnanz bedeutete in den Fällen, wo Figur und Umfeld einander sehr ähnlich waren. Bei der Konstellation „Figur gelb — Beleuchtung grün", ist aber schon mit dem Wegfallen des Stadiums (2) der Gleichheit die Entsättigung der Figur figurtheoretisch von weit geringerer Bedeutung.

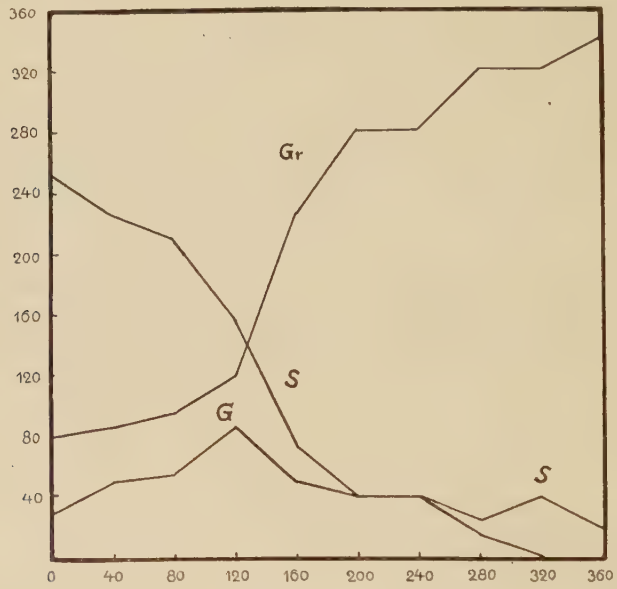

Fig. 11.
Figur gelb, Beleuchtung grün. Vp A. L. Figurkurven.
Gr = grün, *G* = gelb, *S* = schwarz.

Einen Versuch mit der zuletzt beschriebenen Konstellation zeigen Figg. 11 und 12. Die Fig. 11 gibt die Figurkurven, Fig. 12 die Kurven des umgekehrten Grundes wieder. Die gelbe Scheibe erscheint in der Beleuchtung des Grüngläschens, das sehr viel Licht absorbiert (vgl. die spektralanalytischen Kurven S. 157), so daß weder im Grund- noch im Figurversuch die Schwarzkurve (*S*) den Nullpunkt bei 360° *S* erreicht. Die Gleichungen sind bei Tagesbeleuchtung eingestellt worden. *Gr* bedeutet grün, *G* gelb.

Figurkurven: Das Stadium 1 ist wieder durch eine hohe *S*-Kurve charakterisiert. Die Figur hebt sich dunkel ab. Die uns von früheren

Versuchen bekannten Stadien des Verschmelzens von Figur und Umfeld und der Entsättigung der Figur, fallen aus oben angegebenen Gründen fort und das Stadium der Schwarzprägnanz geht direkt in 2, das der Gelbprägnanz, über. Die Gelbkurve hat bei 120° *S* ihr Maximum; die Figur ist gelblich grün, ihre Eigenfarbe hat hier maximale Stärke. Es ist dies wiederum das klassische Transformationsphänomen.

Ich sehe nicht ein, warum man hier von einer auf Kontrast fußenden

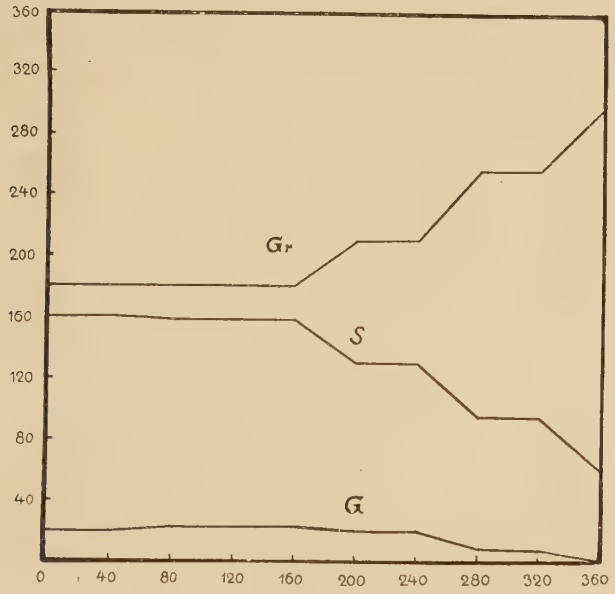

Fig. 12.
Figur gelb, Beleuchtung grün. Vp A. L.
Kurven des umgekehrten Grundes zu dem in Fig. 11 dargestellten Versuch.

Erklärung absehen sollte, hat sich doch der Kontrast bisher als Erklärungsprinzip gut bewährt, vorausgesetzt, daß man — wie oben — verschiedene Wirkungsweise der Induktion annimmt, je nachdem sie sich auf Figur oder Grund bezieht. Im Hinblick auf den Kontrast liegen die Verhältnisse hier ganz ebenso wie bei der isochromen Transformation, insofern, als das grüne Umfeld die von der Beleuchtung herrührende Grünlichkeit der Figur induktiv abzuschwächen strebt. Wenn aber in jenem Falle die mit dem Umfeld gleichfarbige Figur sich in schwächerer Sättigung von der Umgebung abhob, so ergibt hier die Ausschaltung der dem Umfeld gleichfarbigen Komponente, daß die Eigenfarbe der Figur

allein zurückbleibt und den Eindruck fundiert. Man sieht eine mehr oder weniger gelbe Figur in grüner Beleuchtung, selbstverständlich unter der Voraussetzung, daß das Grüngläschen auch einige gelbe Strahlen durchläßt. Ist dies nicht der Fall, so dringen überhaupt keine gelben Strahlen ins Auge, die Figur erscheint farblos bis ungesättigt grün.

Wenn vom Punkt des gelben Maximums an das Umfeld dunkler gemacht wird, so wird es auch bei jedem Schritt von 40° *S* weniger

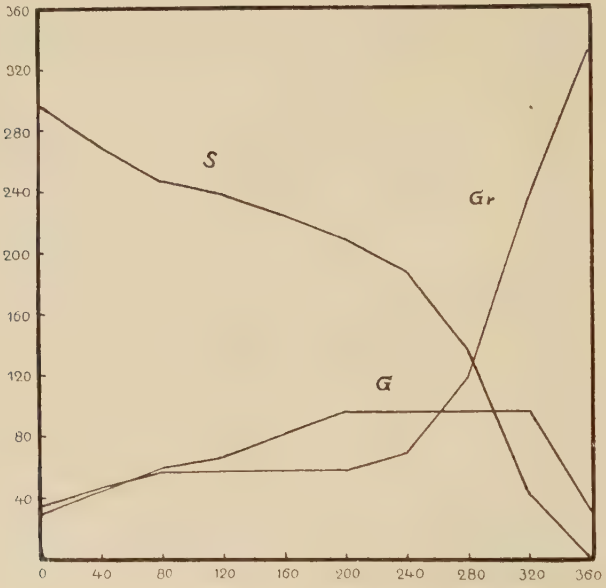

Fig. 13.
Figur gelb, Beleuchtung grün. Vp Verf. Figurkurven.
Gr = grün, *G* = gelb, *S* = schwarz.

grünes Licht ins Auge werfen. Folglich muß die vom Grün ausgehende Induktion seitens des Umfeldes immer mehr abnehmen; das Beleuchtungsgrün der Figur muß gegen das Ende der Abszisse in immer größerer Sättigung erscheinen und bei 360° *S* die Grünkurve ihr Maximum erreichen.

Für die Kurven des umgekehrten Grundes fällt die Induktion wieder anders aus und zwar sehr einfach: die Kurven der Schwärzlichkeit und Gelblichkeit schlagen von 160° *S* an allmählich eine sinkende Richtung ein, die Grünkurve steigt. Vom Stadium der Gelblichkeit ist höchstens eine schwache Andeutung da. Die Schwarzkurve des Grundes steht bei 0° *S* niedriger als die der Figur (vgl. dazu die gleiche Erscheinung bei der

isochr. Tr. S. 158ff.). Über diese Kurven brauche ich mich wohl nicht näher auszulassen.

Prinzipiell dasselbe Resultat ergaben die Versuche mit anderen Vpn Zwei weitere Kurventafeln (Fig. 13, Fig. 14), bzw. Figur- und Grundtafel, seien hier reproduziert. Das gelbe Maximum erscheint hier als ein Plateau.

Ganz analoge Verhältnisse zeigten sich auch bei Versuchen mit dem Violettglas, das blaue und gelbfreie rote Strahlen durchließ. Die Figur

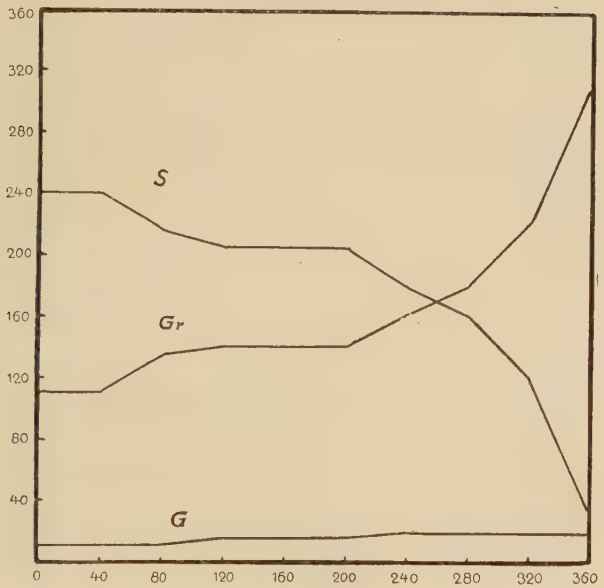

Fig. 14.
Figur gelb, Beleuchtung grün. Vp Verf.
Kurven des umgekehrten Grundes zu dem in Fig. 13 dargestellten Versuch.

ist rot — *W*-Valenz 59°; die Gleichungsseite erscheint aber jetzt auch in violetter Beleuchtung (Gelatine). Ich nehme wieder zwei typische Beispiele, Fig. 15 und Fig. 16. Die oberen Kurven sind Rotkurven, die unteren Blaukurven, und zwar beziehen sich die ausgezogenen Linien auf Figurgleichungen, die gestrichelten auf Gleichungen des umgekehrten Grundes. Die Vpn waren diesmal aufgefordert worden, die Gleichungen ohne Rücksicht auf Helligkeitsveränderungen einzustellen. Es sollten nur die Veränderungen der Rötlichkeit, bzw. Bläulichkeit, bestimmt werden. Diese Aufgabe wurde dadurch erleichtert, daß die Helligkeitsunterschiede

zwischen Figur und Umfeld bei dem gebrauchten Glas und Papier in der Tat kleiner ausfielen als bei den übrigen Kombinationen.

Wie ersichtlich, hat wieder die Eigenfarbe der Figur, das Rot, ein deutliches Maximum, während die Kurve des umgekehrten Grundes die ganze Reihe hindurch so gut wie unverändert bleibt, und nur gegen das Ende der Abszisse die Richtung der Figurkurven einschlägt.

Bei einer dritten Vp (Kunstmaler) Fig. 17) sehen wir, daß die Grundkurve einen ziemlich unregelmäßigen Verlauf hat. Mit dieser Erscheinung

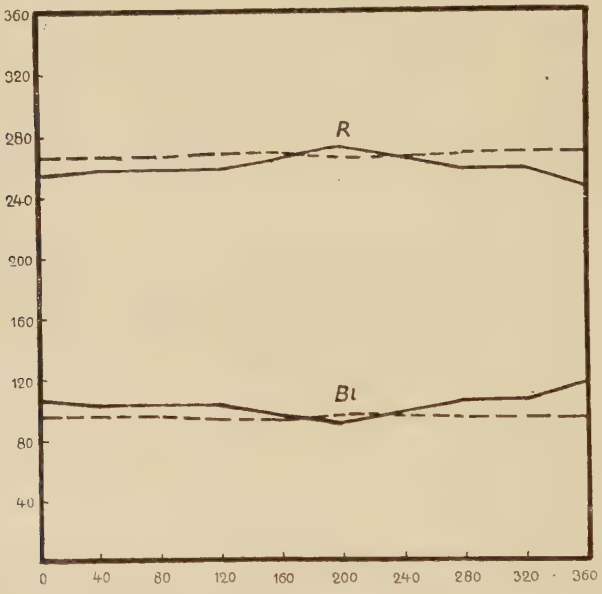

Fig. 15.
Figur rot, Beleuchtung blauviolett. Vp K. R. *R* = rot, *Bl* = blau.

sind wir schon oben (S. 178) vertraut gemacht worden. Die Veränderungen der Grundgleichungen sind ganz willkürlich und die Vp bemerkte nach dem Versuch, daß die verschiedenen Einstellungen auf dem Kreisel *K* ihr so gleich erschienen, daß sie eigentlich nicht wußte, wie sie die Gleichungen ändern sollte. Dies veranlaßte mich die Figurwerte aufs neue zu prüfen, wobei die Vp ihre früheren Werte mit einer Genauigkeit von 3° aufsuchte, was im Hinblick auf die anormalen Beleuchtungsverhältnisse ein erstaunlich gutes Resultat ist.

Theoretisch ist über den Verlauf dieser Kurven nichts besonderes zu sagen. Die Erklärung mit Hilfe unserer allgemeinen Prinzipien dürfte wohl auf der Hand liegen. Zum Schluß dieses Abschnittes seien aber

zu den gewonnenen Ergebnissen einige prinzipiellen Bemerkungen gemacht.

Oben wurde die Entsättigung der Figurfarbe einerseits, das Hervortreten der Eigenfarbe andererseits typisch genannt für iso- bzw. heterochrome Transformation. Und diese beiden Phänomene wurden als Folgeerscheinungen desselben kontrastiven Vorganges aufgefaßt: bei der isochromen Transformation resultierte Entsättigung, weil dort nur eine Farbe vorhanden war, bei der heterochromen wurde mit der Neutrali-

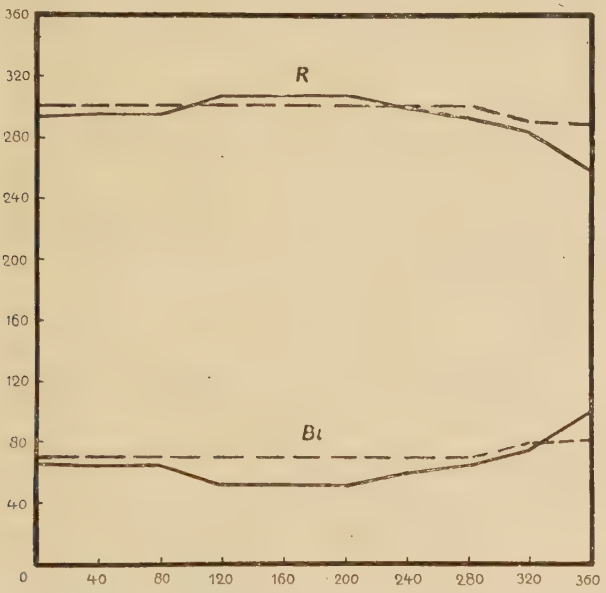

Fig. 16.
Figur rot, Beleuchtung blauviolett. Vp Verf. R = rot, Bl = blau.

sierung (Entsättigung) der dominanten Beleuchtungsfarbe in der Figur ihrer Eigenfarbe das Hervortreten möglich.

Obschon wir diese beiden Phänomene als typisch für die beiden Arten der Transformation bezeichnen, ist weder die isochrome, noch die heterochrome Transformation restlos durch sie charakterisiert. Denn faßt man — wie oben — die Transformation als einen im Dienste der figuralen Prägnanz stehenden Vorgang auf, so ist damit schon implicite vorausgesetzt, daß alle die Figurkurven kennzeichnenden Eigentümlichkeiten auch als Transformationserscheinungen den übrigen zur Seite ge-

stellt werden müssen. Als Beispiel sei das Stadium 1 der Schwarzprägnanz genannt. Wir sahen dort, daß die Schwarzkurve der Figur bei 0° *S* immer höher stand und steiler abfiel als die des Grundes.

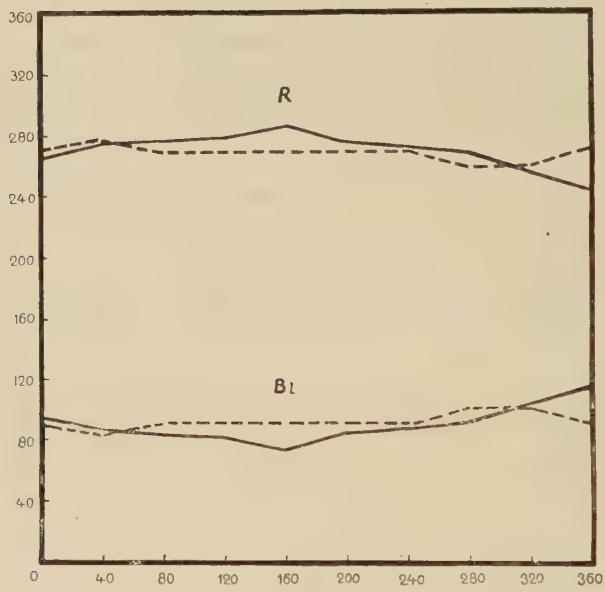

Fig. 17.
Figur rot, Beleuchtung blauviolett. Vp T. E. *R* = rot, *Bl* = blau.

VI. Eine neue Versuchsanordnung.

Nun könnte man gegen alle bisher angeführten Versuche einwenden, daß sie keine Transformationsversuche im üblichen Sinne seien, sondern vielmehr reine Kontrastversuche bei annähernd konstanten transformativen Bedingungen. Abgesehen davon, daß ein solcher Einwand schon durch die phänomenalen Tatsachen hinreichend widerlegt wird — denn der Beleuchtungseindruck veränderte sich mit der Veränderung des Umfeldes von 0 bis 360° *S* (vgl. oben z. B. S. 160ff.) —, wollen wir diese Behauptung jedoch durch eine andere Versuchsanordnung entkräften. Es scheint das auch notwendig deshalb, weil dabei der Aufbau einer Theorie auf methodologischer Einseitigkeit vermieden wird. Da es auf Gewinnung reiner Transformationskurven ankam, entschied ich mich für den bunten Spiegel, mit denen — wie Kaila (a. a. O.) gezeigt hat — die Stärke einer farbigen Beleuchtung bequem variiert werden kann.

An die Kurzseite eines Tisches (siehe Fig. 18) wurde ein großer (110 × 90 cm), mit schwarzem Papier bedeckter Schirm (S) vertikal befestigt. In diesem befanden sich auf gleicher Höhe zwei Löcher, $O = 4{\cdot}5$ cm, $O_1 = 10$ cm Durchmesser, deren Abstand voneinander 7 cm betrug. Vom Loche 0 leitete ein geschwärztes Rohr zu einem zweiten auf dem Tisch vertikal befestigten kleinen Schirm (S_1), um dort mit einer Irisblende (I) abzuschließen. Durch dieses Rohr blickte die Vp in den in einem vertikalen Metallrahmen stehenden bunten Spiegel (S_2), der von der Lampe L (etwa 500 NK) beleuchtet wurde. Von Kreisel K, auf dem sich die farbige Figur (10 cm Durchmesser) nebst zugehörigem

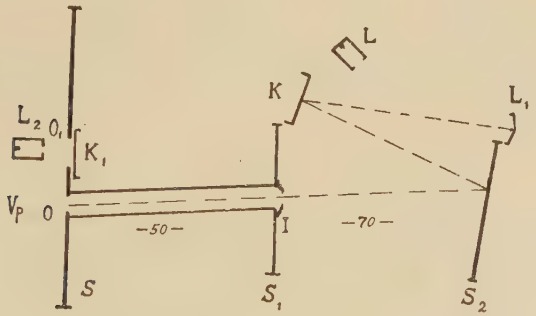

Fig. 18.

Maßangaben in Zentimetern.

$S + W$-Umfeld befand, wurde das Licht der Lampe L_1 (etwa 250 NK) auf den bunten Spiegel reflektiert. Die Lampen waren „Halfwatts" Phillips Projektionslampen mit Silberspiegel. Bei zweckmäßig gewählter Öffnung der Irisblende sah die Vp also im Spiegel eine Figur mit zugehörigem gleich großen Umfeld, mehr oder weniger überlagert von der Spiegelfarbe. Die Lampe L war in einem metallenen Häuschen eingeschlossen, die Lampe L_1 stand hinter dem nach hinten lichtdicht abgeschlossenen Spiegel. Auf dem Kreisel K_1, im Loche O_1, stellte die Vp die Farbengleichungen ein. Die in einem Rohr eingeschlossene Lampe L_2 beleuchtete diese Scheibe. Das Zimmer erhielt kein Licht von außen. Die Beobachtungen erfolgten aus einem Abstand von etwa 20 cm vom Schirm, so daß die Vp die beiden Löcher bequem überschaute. Das gespiegelte Licht fiel dabei selbstverständlich nur in das eine Auge. Als

bunte Spiegel wurden auf Glasplatten ausgespannte Ostwaldsche Papiere benutzt.[1] Wenn die Beleuchtung auf diese Weise mit einem farbigen Papier hergestellt wird, dann lassen sich die Gleichungen direkt mit den für Figur und Spiegel gebrauchten Papieren einstellen. Das ist der größte Vorteil dieser Versuchsanordnung. Auch die Stärke der bunten Beleuchtung kann bequem verändert werden. Zu diesem Zwecke benutzte ich einen Widerstand in der Leitung der Lampe *L*.

Andererseits hat diese Versuchsanordnung auch ihre Nachteile. Teils muß man mit einer Gelblichkeit des gespiegelten Lichtes rechnen, teils sind die bunten Beleuchtungen nicht frei von Beimengungen anderer Farben, welche spektralanalytisch nicht so einfach zu messen sind wie die der farbigen Gläser. Auch ist es sehr unwahrscheinlich, daß die bunte Beleuchtung bei den verschiedenen Stärkegraden qualitativ ganz konstant ist. Es ist aber zu bemerken, daß diese Anordnung hauptsächlich zur Bestätigung der mit den analysierten Beleuchtungen gewonnenen Ergebnisse dienen soll.

Zur Phänomenologie der Spiegelversuche: Sowohl physikalisch als auch rein phänomenal unterscheidet sich diese Anordnung von der früheren. Das „bunte Licht gesellt sich zu dem regelmäßig reflektierten Licht, es überlagert sich also dem Spiegelbild. Die Verhältnisse der Netzhautreizung liegen demnach so wie in dem Falle, wo durch eine nicht ganz klare bunte Flüssigkeit auf Gegenstände gesehen wird. Man glaubt nun tatsächlich durch einen buntfarbigen Nebel auf die in dem Buntspiegel gespiegelten Objekte zu sehen" (Katz, a. a. O. S. 350). Ist die Beleuchtung nicht allzu schwach, so ist das Umfeld phänomenal nicht als Flächenfarbe gegeben, sondern als bunte Beleuchtung. Je dunkler bei konstanter Spiegelreflexion das Umfeld gemacht wird, desto vollständiger wird es vom bunten Spiegellicht überdeckt, desto ausgeprägter der Eindruck einer farbigen Beleuchtung. Ganz anders lagen die Verhältnisse bei dem Dunkelkasten. Bei den hellen Umfeldern war der Eindruck einer farbigen Beleuchtung am deutlichsten zu haben, dagegen konnte bei schwarzem Umfeld eine bunte Beleuchtung überhaupt nicht gesehen werden (vgl. oben S. 161). Hier ist der Beleuchtungseindruck bei dem weißen Umfeld (0^0 *S*) am schwächsten. Kaila (a. a. O. S. 41) hob hervor, daß in den Grenzfällen, wo die Figur eben noch sichtbar ist, eine Akkommodation an die Spiegelfläche den ganzen Figureneindruck verschwinden lassen kann, während die Beleuchtungsfarbe allein hervor-

[1]) Über bei solchen Versuchen zu beobachtenden Kautelen siehe Kaila (a. a. O. S. 22), Hering, *Pflügers Archiv.* 1888. Bd. XLIII; S. 5ff.; sowie Katz (a. a. O. S. 349). Notwendig zuzufügen scheint mir das auf S. 191 angegebene über die Lampe L_2.

tritt. Bei richtiger akkommodativer Einstellung taucht die Figur wieder aus dem bunten Nebel auf.

Wenn demnach der Eindruck einer bunten Beleuchtung mit der Verdunkelung des Umfeldes deutlicher wird, sollten wir, von unseren obigen Versuchen ausgehend, erwarten, daß dabei die Transformation proportional zunimmt, denn immer war die Transformation am stärksten, wenn der Beleuchtungseindruck am deutlichsten war. Daß mit der Veränderung der Umfeldhelligkeit die Figur tatsächlich keine oder nur unbedeutende objektive Veränderungen erleidet, wäre für die Transformation belanglos. Denn die Transformationsreaktion bezieht sich auf das phänomenal gegebene, die figurale Konstellation nebst dem Beleuchtungseindruck.

Wie sich die Transformation bei der Vergrößerung des Schwarzsektors des Umfeldes verhält, das also ist die weiter unten experimentell zu beantwortende erste Frage. Ferner fragen wir uns: Wie wirkt eine Variation der Beleuchtungsstärke bei konstantem Umfeld?

A. Versuche mit nichtkomplementären Konstellationen.

Wir untersuchen zuerst eine Figur-Beleuchtungskonstellation, bei der die benutzten Papiere von annähernd gleicher W-Valenz und nichtkomplementär sind. Die Figur ist blau (W-Valenz etwa 52°), das Beleuchtungspapier grün (W-Valenz etwa 56°). Im Strahlengang der Lampe L stellen wir einen blauen Gelatinefilter auf, wobei die Beleuchtung nicht gelblich ist, sondern einen Stich ins Bläuliche erhält. Die Gleichungen werden dann mit größerer Sicherheit eingestellt.

Für die verschiedenen gebrauchten Beleuchtungsstärken stellen wir immer zuerst die reduzierten Gleichungen ein und zwar bei absoluter Reduktion. Dabei wird auch die Lampe L_2 verschoben, bis Gleichungs- und Figurseite in annähernd gleich starker Beleuchtung erscheinen. Es ist dies unbedingt notwendig, denn nur wenige Personen können verschieden stark beleuchtete Farben auf ihre Qualität hin vergleichen. Erst nachdem für eine bestimmte Beleuchtungsstärke der richtige Abstand der Lampe L_2 gefunden und die reduzierte Gleichung eingestellt worden ist, wird die Figur auf vier verschiedenen Umfeldern dargeboten. Natürlich darf die Lampe L_2 dann nicht mehr verschoben werden. Die vier Umfelder — 0°, 160°, 240° und 360° S — haben sich empirisch als diejenigen herausgestellt, die

den Verlauf der Transformation bei Variation der Umfeldhelligkeit am besten klarlegen. Hier, wo es auf Prüfung verschiedener Beleuchtungsstärken ankam, wäre es zu umständlich gewesen, jede Reihe mit allzu vielen Umfeldern durchzuführen. In der Tat genügen die vier ausgewählten Umfelder, um einen Überblick über die Wirkung dieses Faktors zu gestatten.

Die Werte des umgekehrten Grundes sind nicht ermittelt worden. Aus den unten zu erwähnenden Tatsachen (S. 203) ersehen wir, daß eine Kurve jener Grundwerte so gut wie horizontal und geradlinig verlaufen würde, so daß wir bei dieser Anordnung ohne großen Fehler in der Berechnung der Transformationsstärke die Werte der absoluten Reduktion zugrunde legen können. An sich bedeutet die Helligkeit — Dunkelheit des Umfeldes, bzw. der Figur der umgekehrten Konstellation bei dieser Versuchsanordnung kontrastiv viel weniger als bei der früheren. Hier ist ja die farbige Beleuchtung als eine Überlagerung mit Spiegelfarbe phänomenal gegeben. Die Differenz zwischen Figur- und Grundgleichungen ist ebenfalls wiederzufinden, wird aber tatsächlich annähernd gleich der Differenz zwischen den Figurwerten und den Werten der absoluten Reduktion. Oben wurden die Werte der relativen Reduktion als Ausgangspunkt für die Berechnung der Stärke und Richtung der Transformation benutzt. Hier können wir also das ältere Verfahren, die Transformationsstärke zu berechnen, benutzen und somit die absolute Reduktion der Berechnung zugrunde legen. Betrachten wir erst die Horizontalreihen der Tabelle I und II: Links finden wir immer den Wert des Figurfarbsektors bei absoluter Reduktion, in jeder Reihe.

Tabelle I.

Abs. Reduktion und relative Bel.-Stärke	*S*-Sektor des Umfeldes			
	0°	160°	240°	360°
125° 100	+ 17	+ 18 + 8 *W*	+ 23 + 11 *W*	+ 35 + 15 *W*
148° 72	0	4 + 5 *W*	10 + 8 *W*	14 + 12 *W*
193° 42	0	4 + 6 *W*	4 + 8 *W*	8 + 11 *W*
224° 24	0	0	0 + 4 *W*	2 + 8 *W*

Vp R. Ö. Figur blau, Beleuchtung grün; ein blauer Gelatinefilter vor der Lampe *L*.

Tabelle II.

Abs. Reduktion und relative Bel.-Stärke	*S*-Sektor des Umfeldes			
	0°	160°	240°	360°
94° 100	+ 16	+ 16	+ 44 + 9 *W*	+ 51 + 15 *W*
144° 72	0	0	14 + 10 *W*	28 + 17 *W*
214° 42	0	0	8 + 6 *W*	28 + 12 *W*
240° 24	0	0	12 + 8 *W*	12 + 8 *W*

Vp A. L. Figur blau, Beleuchtung grün; ein blauer Gelatinfilter vor der Lampe *L*.

Darunter stehen die Werte einer von mir photometrisch bestimmten Helligkeitsskala, die nur dazu dienen sollen, dem Leser eine einfache ungefähre Orientierung über die Verhältnisse der angewendeten Beleuchtungsstärke zu geben. Die Vergrößerung des Figurfarbsektors von oben nach unten gibt ja auch an, daß die Beleuchtungsstärke in gleicher Richtung abnimmt. Zu jeder Beleuchtungsstärke gehören vier Figurgleichungen, entsprechend den vier Umfeldern; der reduzierte Wert des Figurfarbsektors ist vom Wert desselben Farbensektors jeder Figurgleichung abgezogen worden. Diese Differenzen sind in den Kolumnen zu finden und stellen, wie oben ausgeführt wurde, ein Maß dar für die Transformationsstärke. Wo noch zur Figurgleichung Weiß hinzugefügt wurde, ist auch der Wert des Weißsektors mit Gradzahl und einem *W* angegeben. Die Transformation stellt sich dann — und zwar in diesem Versuch in den meisten Fällen — als eine Summe dar. Mit + und — ist bezeichnet worden, ob die Figur sichtbar war oder nicht. Unter der obersten + Reihe sind alle Horizontalreihen +.

Nun sehen wir in jeder Horizontalreihe, daß die Werte von links nach rechts steigen, und zwar trifft dies für das Blau wie für das Weiß zu. Daß diese Steigerung bald größer, bald kleiner, bald von der ersten (0° *S*) bis zur vierten Kolumne sich erstreckt, bald nur die zwei letzten Kolumnen umfaßt, das macht nicht viel aus. Die Tendenz ist in allen Fällen unverkennbar. Wir können daher folgenden Satz aufstellen: (Ia) die Stärke der Transformation nimmt bei der Vergrößerung des Schwarzsektors im Umfelde zu. Wie ersichtlich, gilt der Satz für alle geprüften Beleuchtungsgrade; die Zunahme erfolgt

aber nicht immer im selben Verhältnis. Der folgende Satz drückt ihre Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke aus: (IIa) je stärker die bunte Beleuchtung, desto größer proportional ist bei der Vergrößerung des Umfeldschwarzsektors die Zunahme der Transformation. Daß diese zwei Sätze für die Blau- wie für die Weißtransformation Gültigkeit besitzen, zeigt ein Blick auf die Tabellen (I und II); da indessen die Weißtransformation eine Sättigungsabnahme der Figurfarbe zur Folge hat, wollen wir noch einen dritten Satz aufstellen, um dies auszudrücken: (IIIa) mit der Zunahme der Transformation nimmt die Sättigung der transformierten Farbe ab.

Die Vp R. Ö. hat bei weißem Umfeld eine Transformation nur bei maximaler Beleuchtungsstärke konstatiert. Für die Vp A. L. gilt dasselbe, sie hat aber auch bei dem 160° *S* einhaltenden Umfeld nicht mit Sicherheit eine Transformation konstatieren können. Ein solches Ausbleiben der Transformation bei diesen Umfeldern werden wir im folgenden immer wieder antreffen. Dies ist gut zu verstehen, wenn man bedenkt, daß die Verhältnisse analog denen bei schwarzem Umfeld in der Versuchsanordnung mit dem Dunkelkasten sind. Die Beleuchtungsfarbe ist, wenn überhaupt vorhanden, dann ungesättigt, so daß die Figur sich gut von der Umgebung abhebt, ohne transformiert zu sein; es ist auch kontrastiv gut zu verstehen, daß eine schwache Umfeldfarbe unmerklich oder schwach induziert. — Betrachten wir nunmehr die Vertikalreihen: Die Werte steigen von unten nach oben, zwar nicht so regelmäßig, daß nicht einige Ausnahmen vorkommen, aber doch in unzweideutiger Weise. Überhaupt ist in diesen Versuchen immer mit einigen Ausfallswerten zu rechnen (vgl. die Kurven von Kaila, a. a. O. S. 37, dessen Versuchsanordnung mit unserer ziemlich stark übereinstimmt). Wir können also den folgenden Satz aufstellen: (Ib) die Transformation nimmt mit der Stärke der bunten Beleuchtung zu. Diese Gesetzmäßigkeit ist schon früher von anderen Autoren gefunden worden. Katz (a. a. O. S. 169) sowie Jaensch und Müller (a. a. O. S. 308f.) haben ihre Gültigkeit für die achrome Transformation bewiesen. Sie lautet dann in der Formulierung von Katz: „. . . die zentrale Aufhellung einer weißen Fläche (ist) um so größer, je tiefer die Beschattung ist." Im physikalischen Sinne sind doch diese beiden Formulierungen nicht in Parallele zu setzen — einerseits eine Beleuchtungszunahme, andererseits eine Beleuchtungsabnahme —, aber phänomenal ist in den beiden Fällen die gleiche Reaktion vorhanden gegen eine zunehmende Überlagerung mit Raumfarbe. Für nicht-komplemen-

täre Konstellationen mit buntfarbiger Figur und Beleuchtung — wie oben — ist dieselbe Gesetzmäßigkeit von Kaila (a. a. O. S. 35ff.) konstatiert worden.

Es fällt auf, daß die Verdunkelung des Umfeldes einerseits (Satz Ia), die Zunahme der Beleuchtungsstärke andererseits (Satz Ib), die Transformation in gleicher Weise begünstigen. Daß dies nicht auf Zufall beruht, ist klar, wenn man bedenkt, daß die Verdunkelung des Umfeldes eben das Hervortreten der Spiegelfarbe begünstigt und damit phänomenal den Eindruck der farbigen Beleuchtung verstärkt (siehe oben S. 190). In der Tat, die Sätze Ia und Ib sind inhaltlich gleich und können in einem Satz I vereinigt werden: Je deutlicher der Eindruck einer farbigen Beleuchtung, desto stärker die Transformation. Merkwürdig ist diese Identität der zwei ersten Sätze, weil im ersten Fall objektiv nur das Umfeld verändert worden ist und die erhaltenen Werte daher als Kontrastwerte bei im Hinblick auf Transformation objektiv konstanten Versuchsumständen betrachtet werden können, während im zweiten Fall bei der Verstärkung der Beleuchtungsfarbe auch die Figur einen Zusatz dieser Farbe erhalten hat, so daß die Reihe dieser Werte als eine typisch transformative bezeichnet werden muß. Und trotzdem in beiden Fällen dieselbe Gesetzmäßigkeit.

Die in den beiden ersten Tabellen gegebene Darstellung der transformativen Veränderungen bei Variation der Beleuchtungsstärke berücksichtigt, wie ersichtlich, nicht die Tatsche, daß ein Zusatz von z. B. 20° Blau bei einer Ausgangs- (Reduktions-) Gleichung von 90° Blau vielmehr bedeutet als bei einer Ausgangsgleichung von z. B. 240° Blau. Wenn dies mit berücksichtigt wird, gleichen sich die Fehler der Versuche noch bedeutend aus. Ich habe daher in der Tabelle III eine in dieser Hinsicht einwandfreiere Darstellung der erhaltenen Resultate gegeben. Die Stärke der Transformation wird durch einen Quotienten

$$\frac{\text{Figurfarbsektor der Figurgleichung}}{\text{Figurfarbsektor der Reduktionsgleichung}}$$

wiedergegeben und somit derjenige Koeffizient ermittelt, mit dem der Figurfarbsektor der reduzierten Gleichung multipliziert werden muß, um den Wert des entsprechenden Sektors der transformierten Figurgleichung zu ergeben. Wo Weiß in die Figurgleichung eingeht, muß dieselbe Division für Weiß ausgeführt werden. Als Ausgangswert gilt dann in der reduzierten Gleichung die *W*-Valenz der farbigen Papiere, die wir mit rund

Tabelle III.

Relative Bel.-Stärke	Vp R. Ö. *S*-Sektor des Umfeldes								Vp A. L. *S*-Sektor des Umfeldes							
	0°		160°		240°		360°		0°		160°		240°		360°	
	Blau	Weiß	Blau	Weiß	Blau	Weiß	Blau	Weiß	Blau	Weiß	Blau	Weiß	Blau	Weiß	Blau	Weiß
100°	1·14	1·0	1·14	1·15	1·22	1·20	1·28	1·28	1·17	1·0	1·17	1·0	1·47	1·17	1·55	1·28
72	1·0	1·0	1·03	1·09	1·07	1·15	1·09	1·22	1·0	1·0	1·0	1·0	1·10	1·18	1·19	1·32
42	1·0	1·0	1·02	1·11	1·02	1·15	1·04	1·20	1·0	1·0	1·0	1·0	1·04	1·11	1·11	1·22
24	1·0	1·0	1·0	1·0	1·0	1·07	1·01	1·15	1·0	1·0	1·0	1·0	1·05	1·15	1·05	1·15

Die Transformationskoeffizienten zu den Tabellen I und II.

54° ansetzen können, da die beiden Papiere in der Tat annähernd gleich weißlich sind (*W*-Valenz bzw. 56° und 52°): also

$$\frac{W\text{-Valenz} + W\text{-Sektor der Figurgleichung}}{W\text{-Valenz der Reduktionsgleichung}}.$$

Diese Koeffizienten bezeichnen wir als Transformationskoeffizienten. Sie zeigen also hier, um wieviel das Weiß und das Blau bei der Transformation zunimmt. Die Koeffizienten für Weiß sind fett. Die Tabelle dürfte ohne weiteres verständlich sein. Wir sehen, daß die Transformationskoeffizienten für die beiden Farben mit der Vergrößerung des Umfeldschwarzsektors (von links nach rechts) und mit der Stärke der bunten Beleuchtung (von oben nach unten) steigen (Satz I).

In Satz IIa stellt sich die Tatsache dar, daß sich die Koeffizienten jeder oberen Horizontalreihe schneller vergrößern als die der unteren. Etwas inhaltlich Neues, was über den ersten Satz hinaus führte, drückt sich darin nicht aus. Das versteht sich, wenn man die Tatsache in Betracht zieht, daß bei den weißen Umfeldern die Spiegelfarbe aus physikalischen Gründen sehr zurücktritt, so daß die vier weißen Umfelder — den vier Beleuchtungsgraden entsprechend — im Hinblick auf die Transformation sehr nahe aneinander liegen. Nun ist der Punkt der maximalen Beleuchtungsstärke und Beleuchtungssichtbarkeit offenbar rechts oben — oberste Horizontalreihe. Die Transformation hat in der obersten Reihe daher von einem verhältnismäßig niedrigen Wert zu ihrem Maximalwert zu steigen, während sich ihr Wert mit jeder folgenden Horizontalreihe von einer der ersten nahestehenden Größe bis zu 360° S allmählich verringern muß. Dies folgt einfach aus dem Satze I. Natürlich ist in den Vertikalreihen eine gleiche Gesetzmäßigkeit zu

finden: die Transformationskoeffizienten jeder rechten Vertikalreihe vergrößern sich proportional schneller als die der linken (IIb).

Nach dem dritten Satz (IIIa) sollte mit der Zunahme der Transformation eine Sättigungsabnahme der Figur verbunden sein. Daß dieser Satz nicht nur für die Horizontalreihen, sondern auch für die Vertikalreihen (IIIb) gilt, zeigt ein Blick auf die Tabelle (Transformationskoeffizienten für Weiß). Wir sehen, daß diese „Entsättigungstransformation" denselben Gesetzen folgt wie die Farbentransformation. Bei dieser Konstellation sind die Weißkoeffizienten sogar ebenso groß wie die Blaukoeffizienten. Wie ist das zu erklären?

Wir erinnern uns, daß bei den Versuchen mit dem Dunkelkasten die Entsättigungstransformation als Typus der isochromen Transformation auftrat. In der Tat ist auch die oben untersuchte Konstellation z. T. isochrom, denn die Beleuchtung ist bläulichgrün und die Figur blau. Eben dies erklärt die hochgradige Entsättigung. Aus der Tabelle IV ist nämlich ersichtlich, daß bei rein isochromer

Tabelle IV.

Abs. Reduktion und relative Bel.-Stärke	*S*-Sektor des Umfeldes			
	0°	160°	240°	360°
360°	11	11	23	42
72	**1·09**	**1·09**	**1·19**	**1·35**
360°	0	9	16	29
42	**1·0**	**1·08**	**1·13**	**1·24**
360°	0	8	16	21
24	**1·0**	**1·07**	**1·13**	**1·18**
354° + 6° *W*	0	0	4	12
18	**1·0**	**1·0**	**1·03**	**1·09**

Vp. Verf. Figur gelb, Beleuchtung gelb. Die Transformationskoeffizienten unten in jeder Horizontalreihe.

Transformation — Figur gelb, Beleuchtung gelb von der *W*-Valenz 120° — die transformativen Vorgänge auch bei dieser Versuchsanordnung auf dem Wege der Entsättigung verlaufen und zwar in prinzipiell derselben Weise wie bei den ersten Versuchen. Die unteren, fetten Zahlen sind Transformationskoeffizienten, in die die *W*-Valenz des gelben Papieres mit einberechnet worden ist. Diese Versuche scheinen endgültig zu beweisen, daß die isochrome und die heterochrome Trans-

formation tatsächlich wesensgleiche Vorgänge sind. Mit der früher gebrauchten Versuchsanordnung konnten wir eine Konstellation herstellen (S. 177ff.), die sich als Übergangsform zwischen iso- und heterochromer Transformation erwies, hier finden wir, daß beide Arten der Transformation nach denselben Gesetzen verlaufen.

Tabelle V.

Absolute Reduktion	341 $R+13\,G+6\,W$	359 $R+11\,G$	359 $R+11\,G$	359 $R+11\,G$
Relative Bel.-Stärke	160	72	42	24
Stärke der Transformation	$15^0\ W$ **1·14**	$12^0\ W$ **1·12**	$10^0\ W$ **1·10**	$9\ W$ **1·09**

Vp. H. F. Figur rot, Beleuchtung rot. R = rot, G = gelb, W = weiß.

Die Tabelle V stellt einen Versuch dar mit roter Figur in roter Beleuchtung. Als Umfeld ist nur die schwarze Scheibe (360^0 *S*) benutzt worden, so daß diese Reihe — obschon horizontal — eine Vertikalreihe ist. Die Reduktionsgleichungen stehen in der ersten Horizontalreihe, dann folgen die relativen Beleuchtungsstärken und zuletzt unten die Transformationsdifferenzen und die Koeffizienten. Die W-Valenz des roten Papieres ist wieder $= 59^0$.

Auch von anderen Autoren sind Entsättigungserscheinungen bei heterochromer Transformation beschrieben worden. So z. B. von Katz (a. a. O. S. 271 bis 275) und Kaila (a. a. O. S. 42.) Und Bühler (a. a. O.) baut sogar eine Theorie der Transformation auf, die sich auf die Entsättigungserscheinungen gründet. Gegen die Theorie Bühlers sind jedoch von Katz[1] Experimente angeführt worden, die sie — wie mir scheint — endgültig widerlegen.

Wir gehen zu einer Konstellation über, bei der die Versuchsbedingungen heterochrom reiner sind. Vollständig heterochrom sind sie nicht, denn dazu wäre Tageslicht erforderlich, was wegen der Inkonstanz der Tagesbeleuchtung technisch sehr unbequem ist. Die Figur ist blau, das Spiegelpapier rot. Die Papiere sind dieselben wie oben. Wir sehen in der Tabelle VI, daß der Weißzusatz sehr unbedeutend ist, verglichen mit dem der früheren Konstellationen, und weiterhin, daß die Entsätti-

[1] Katz, Neue Beiträge zu den Erscheinungsweisen der Farben. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* I. 1924. Bd. XCV. S. 129—136.

Tabelle VI.

Abs. Reduktion und relative Bel.-Stärke	*S*-Sektor des Umfeldes			
	0°	160°	240°	360°
	+	+	−	−
25°	14	19 + 6*) *W*	0	0
100	**1·56**	**1·76**	**1·0**	**1·0**
	+	+	+	+
45°	0	23	54 + 6*) *W*	127 + 6*) *W*
72	**1·0**	**1·51**	**2·20**	**3·82**
122°	6	18	30	94 + 6*) *W*
42	**1·05**	**1·15**	**1·25**	**1·77**
180°	0	13	23	30
24	**1·0**	**1·07**	**1·13**	**1·17**
190°	5	9	26	40
18	**1·03**	**1·05**	**1·14**	**1·21**

Vp B. B. Figur blau, Beleuchtung rot.

*) Transformationskoeffizient des Weiß 1·10. Die Koeffizienten für Blau unten in jeder Horizontalreihe.

gung nur bei den stärksten Graden der Transformation auftritt (Satz III). Die Vp transformiert stark, so daß auch der Weißkoeffizient (1·10) sehr klein ist, wenn man ihn mit den hohen Transformationskoeffizienten des zugehörenden Figurblau (1·76, 1·77, 2·20 und 3·82) vergleicht.

In der ersten linken Vertikalreihe finden wir die bei dem weißen Umfeld gewöhnliche Unsicherheit in der Beurteilung der Gleichungen. — Unser Satz I ist hier nur mit der Einschränkung gültig, daß die Spiegelfarbe bei maximaler Beleuchtungsstärke die Figur vollständig überlagert, so daß die Transformation ausbleibt. Solange jedoch die Figur bei zunehmender Beleuchtungsstärke überhaupt sichtbar ist, ebenso lange nimmt auch die Transformation an Stärke zu. Es ist klar, daß dies sowohl für Horizontal- wie für Vertikalreihen gilt. Interessant ist der plötzliche Umschlag von starker Transformation zu vollständiger Überlagerung.

Im Hinblick auf die Prägnanz der Konstellation ist auch die heterochrome Transformation ein sehr zweckmäßiger Vorgang, indem die Figur sich mit ihrer Eigenfarbe von der Umgebung herabsetzt. Wenn aber dies aus reizphysikalischen Gründen nicht mehr geht, so tritt eine schnelle „Umzentrierung“ (Wertheimer) der Konstellation ein, wobei sich der ebenfalls eindeutige und prägnante Eindruck eines homogen gefärbten Feldes einstellt.

Tabelle VII.

Abs. Reduktion und relative Bel.-Stärke	*S*-Sektor des Umfeldes			
	0°	160°	240°	360°
	+	+	±	−
32°	0	0	28 (0)	0
100	1·0	1·0	1·88 (1·0)	1·0
	+	+	+	+
42°	0	26	43	158
72	1·0	1·62	2·02	4·76
150°	0	22	45	80
42	1·0	1·15	1·30	1·53
220°	0	14	24	50
24	1·0	1·06	1·11	1·23
250°	0	0	12	30
18	1·0	1·0	1·05	1·12
258°	0	0	4	24
14	1·0	1·0	1·02	1·09

Vp Verf. Figur blau, Beleuchtung rot. Die Transformationskoeffizienten unten in jeder Horizontalreihe.

Wenn ich denselben Versuch mit mir selbst als Vp durchführe (Tabelle VII), finde ich, daß man befriedigende Maximalwerte der Transformation einstellen kann[1], auch ohne Weiß in die Gleichungen einzuführen. Etwas prinzipiell Neues bringt diese Tabelle nicht zutage. — Bei 240° *S* oben schwankt das Urteil zwischen 0° und 28° (siehe Tabelle.)

Wie sind nun die mit dieser Versuchsanordnung bisher gewonnenen Ergebnisse zu erklären? Können wir direkt an unsere früheren Ausführungen anknüpfen, oder müssen wir etwa neue Hypothesen heranziehen? Mir scheint, als wären diese Resultate besonders geeignet, unsere Theorie zu stützen. Von fundamentaler Bedeutung ist zu diesem Zwecke die Tatsache, daß es für den Verlauf der Transformation gleichgültig ist, wie der Eindruck einer Beleuchtungszunahme zustande kommt. In den Horizontalreihen geschieht die objektive Veränderung nur im Umfelde, während in den Vertikalreihen sowohl Figur als Umfeld einen Zuwachs an Spiegelfarbe erhalten. Im ersten Falle würde daher jede Änderung

[1] Kaila (a. a. O.) hat wahrscheinlich, da er den während des Ganges verstellbaren Musilschen Kreisel für zwei Scheiben benutzte, immer seine Gleichungen ohne Weißzusätze einstellen lassen. Die von ihm angewendete Lichtquelle gab vermutlich auch (S. 170) ein weißlicheres Licht als die meinige, was ja die Konstellation reiner heterochrom macht.

der Figurfarbe nur auf kontrastivem Wege erfolgen, während im zweiten sowohl Kontrast als auch Transformation eine Rolle spielen würden. Wenn trotzdem in den beiden Fällen die Figur eine Änderung im gleichen Sinne erfährt, können wir meiner Ansicht nach nicht umhin, einen einheitlichen Mechanismus anzunehmen, der beiden unterliegt.

Wesentlich für den Ausfall der Transformation ist nicht, wie der Eindruck einer die Figur überlagernden Beleuchtung physikalisch zustande kommt, sondern das phänomenal Gegebene, der Beleuchtungseindruck an sich. Wenn sich bei der Vergrößerung des Umfeldschwarzsektors der Eindruck einer bunten die Figur überlagernden Beleuchtung — im phänomenalen Sinn — voller und kräftiger entwickelt, nimmt die Transformation zu, ganz in derselben Weise, wie es geschieht, wenn die Beleuchtung einen objektiven Zuwuchs (die Vertikalreihen) erhält. Das heißt aber, daß man in jeder Theorie der Transformation ein für allemal mit der phänomenalen Situation rechnen muß, denn eben auf diese reagieren wir transformierend. Mit der Einführung des phänomenal gleichweise bedeutsamen Figurfaktors in die Erklärung haben wir demnach die Theorie auf die richtige Ebene gehoben.

Schon Katz betont (a. a. O. z. B. S. 374ff.) den Unterschied zwischen Beleuchtung und Beleuchtetem, der im Schwerpunkt seiner Assoziationstheorie der Transformation steht, aber erst Kaila (a. a. O., S. 27ff.) arbeitet das für die Transformation phänomenal Charakteristische schärfer heraus. Katz gegenüber verficht er die These, „daß die normale Beleuchtung nicht in demselben Sinne eine phänomenale Gegebenheit ist wie die anormalen Beleuchtungen“ (dort gesperrt) und fügt hinzu: „es müssen wohl also die anormalen Beleuchtungen den Anstoß zur sinnlichen Unterscheidung zwischen Beleuchtung und Beleuchtetem gegeben haben; demnach scheint diese Unterscheidung die Folge einer Anpassung unseres Auges an die von der optimalen Beleuchtung abweichenden Beleuchtungsverhältnisse zu sein“ (S. 168).

Die Erklärung unseres ersten Satzes mit Hilfe des Kontrastes, daß nämlich die Transformation mit der Stärke der anormalen Beleuchtung zunimmt, knüpft an unseren früheren Erwägungen direkt an. Je kräftiger die Spiegelfarbe im Umfeld hervortritt, desto stärker wird die von ihr ausgehende Induktion von Komplementärfarbe sein. Diese Induktion strebt, in erster Linie die gleiche Komponente (Spiegelfarbe) in der Figur zu neutralisieren. Daraus folgt wiederum, daß die Figurfarbe besser zum Vorschein kommt. Bei der isochromen Transformation, wo Figur- und Beleuchtungsfarbe identisch sind, hat die Neutralisierung auf induktivem Wege nur Entsättigung der Figur zur Folge. Es gibt ja keine andere

Farbe, die in der Figur hervortreten könnte. Die Annahme, daß bei der Verstärkung der bunten Beleuchtung im Umfelde auch die von ihm ausgehende Kontrastwirkung verstärkt wird, und daher die gleichzeitig wachsende Beleuchtungsfärbung der Figur bis zu einer gewissen Grenze kompensiert, scheint mir unseren ersten Satz zu erklären. Denn bei der Neutralisierung der Beleuchtungskomponente in der Figur tritt ja bei wachsender Beleuchtungsstärke annähernd dieselbe Figurfarbe — als Restphänomen — hervor, während in der reduzierten Ausgangskonstellation der Sektor der Figurfarbe vermindert wird. Deshalb nimmt die Transformation mit der Beleuchtung proportional zu.

So erklärt sich auch zwanglos, daß die iso- und heterochrome Transformation den gleichen Gesetzen folgen. Der Mechanismus ist in den beiden Fällen derselbe. Auch verstehen wir gut, warum sich bei den hochgradigen Beleuchtungsstärken die heterochrome Transformation der isochromen nähert. Die induktive Kompensation wird desto unvollständiger, je stärker die bunte Beleuchtung wird. Statt der Figurfarbe tritt mehr und mehr die Entsättigung (Neutralisierung) in den Vordergrund, bis endlich die Beleuchtung so stark wird, daß auch jeder physikalische Anlaß zur Unterscheidung zwischen Beleuchtung und Beleuchtetem wegfällt. Die Figur ist nicht mehr als vom Umfeld differenzierbare Nuance da; sie ist vollständig von der Spiegelfarbe überlagert.

Oben (S. 194) wurde schon hervorgehoben, daß die im Satze Ib formulierte Gesetzmäßigkeit auch für die achrome Transformation Gültigkeit besitzt. Die Figur ist bei diesem Transformationstypus zum Beispiel weißlich grau, die Beleuchtung wird abgeschwächt. Es liegt auf der Hand, daß die Verhältnisse in bezug auf den Kontrast dann dieselben sind wie in den obigen Versuchen. Das Umfeld wird mit der Herabsetzung der Beleuchtungsstärke dunkler, was seinerseits den subjektiven Weißzusatz zur Figur kontrastiv steigern muß. Dieser wirkt der Verdunkelung der Figur entgegen. Der Transformationsmechanismus ist also derselbe wie bei der iso- und heterochromen Transformation. Schon aus rein methodologischen Gründen wäre dies zu erwarten, denn nicht nur kommt in den drei Fällen dieselbe Gesetzmäßigkeit (Satz I) zum Vorschein, sondern auch die phänomenale Gegebenheit — Figur von Raumfarbe überlagert — ist dieselbe.[1]

[1] Jaensch und Müller (a. a. O. S. 282ff.) beschreiben einen Versuch, der die wirkliche Unabhängigkeit der „Helligkeitstransformation" (in unserer Terminologie achrome Tr.) vom Helligkeitskontrast darlegen soll. Davon später S. 221.

Welche Rolle spielt nun bei dieser Versuchsanordnung der Figurfaktor? Mit unserer ersten Versuchsanordnung konnten wir nachweisen, daß die Figurkurven und die Kurven ihres umgekehrten Grundes in verschiedener Weise verlaufen. In beiden Fällen konnten wir eine kontrastive Beeinflussung des Kurvenverlaufs konstatieren, nur waren wir gezwungen anzunehmen, daß der Kontrast die Figur in anderer Weise beeinflußte als den gleichfarbigen umgekehrten Grund. Die Induktion wurde sozusagen im Interesse der Figur ausgenutzt, zwecks Herstellung eines formal prägnanten Bewußtseinseinhaltes. Ist etwas Gleiches auch hier zu finden? Tatsächlich bin ich hier deshalb nicht des näheren darauf eingegangen, weil ich den Unterschied zwischen Figur und Grund schon mit befriedigender Sicherheit nachgewiesen zu haben glaubte und weil die Grundwerte bei dieser Anordnung noch stabiler waren als bei der früheren.

In der Regel sind die Werte des umgekehrten Grundes für jede Beleuchtungsstärke annähernd konstant und stimmen mit denen der absoluten Reduktion sehr nahe überein. Bald findet man jedoch, daß, während bei Vergrößerung des Umfeldschwarzsektors und bei starker Beleuchtung die Figur gemäß Satz I ihre Eigenfarbe proportional zunehmend akzentuiert, der umgekehrte Grund dagegen bei jedem Schritt vollständiger von der Spiegelfarbe überlagert wird. So im nebenstehenden Versuch, wo die Figur blau, die Beleuchtung rot ist (die früher benutzten Papiere). Die steigende Kurve ge-

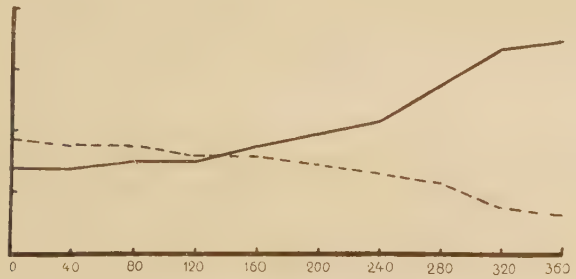

Fig. 19.
Vp M. P. Figur blau, Beleuchtung rot. Maximale Beleuchtungsstärke.

hört zur Figur, die sinkende (gestrichelt) zu deren umgekehrtem Grund. Beide beziehen sich auf den „Figurfarbsektor“ (Fig. 19). Hier verlaufen die Kurven also in ganz entgegengesetzter Richtung, was

besonders prägnant das Unzureichende der Heringschen Wechselwirkungstheorie des Simultankontrastes hervorhebt.

Auch in bezug auf diese Versuchsanordnung gilt das früher über die Verschiedenheit zwischen dem Figur- und dem Grundvorgang Gesagte. Bei dem umgekehrten Grund ist kaum eine Kontrastwirkung vorhanden — die Überlagerung mit Spiegelfarbe tritt in den Vordergrund —, während ein weit komplizierterer Kontrastmechanismus im Dienste der Figurprägnanz steht.

B. Versuche mit komplementären Konstellationen.

Kaila (a. a. O. S. 38 bis 39) hebt hervor, daß bei zunehmender Beleuchtungsstärke die Transformation bei komplementären Konstellationen in anderer Kurve verläuft als bei nicht-komplementären. Während bei den nicht-komplementären Konstellationen die Transformation mit der Beleuchtungsstärke zunimmt — wie auch wir es konstatieren konnten —, nimmt sie bei den komplementären Konstellationen erst zu, um danach bei einer gewissen nicht allzu starken Beleuchtung eine sinkende Richtung einzuschlagen. Kaila zieht daraus den Schluß, daß der transformative Prozeß in den beiden Fällen nicht auf demselben Wege erfolgt, was er, von G. E. Müllers Farbentheorie ausgehend, auch von vornherein (a. a. O. S. 33 bis 34) theoretisch forderte. Betreffs der komplementären heterochromen Transformation sagt er — ganz im Einklang mit unseren Ausführungen —, „daß die Transformation in den Fällen, wo die Beleuchtungsfarbe und die Objektfarbe komplementär sind, nur in einer zentral gesteigerten Kontrastwirkung besteht (S. 39)". Um die oben von uns kontrastiv erklärte nichtkomplementäre Transformation zu begreifen, entwickelt er aber ganz andere theoretische Anschauungen, die auf dem alten Heringschen Begriff der Gedächtnisfarbe fußen. Wir gehen auf diese Ausführungen nicht näher ein, zumal es mir notwendig erscheint, die Theorie der Transformation auf einheitlichem Grunde aufzubauen, da doch die verschiedenen Formen der Transformation wesensgleich sind und im großen und ganzen denselben Gesetzen folgen. Nur wo dies auf unüberwindliche Schwierigkeiten stößt, müssen neue Wege aufgesucht werden. Indessen haben wir oben gezeigt, daß sich auch diejenigen Fälle, bei denen Figur und Beleuchtung heterochrom und nichtkomplementär sind, mit Hilfe des Kontrastes erklären lassen. An Hand einiger Experimente werden wir unten noch darzulegen versuchen, daß die in den komplementären Konstellationen zutage

tretenden Abweichungen vom Satze I aller Wahrscheinlichkeit nach nur scheinbare sind, daß m. a. W. dieser Satz für das ganze Gebiet der transformativen Erscheinungen gilt.

Zunächst wollen wir die Kurven Kailas näher betrachten. Wir nehmen zuerst Abb. 3, hier als Fig. 20 wiedergegeben, aus seiner Arbeit (S. 38). Die zwei oberen ausgezogenen Kurven entstammen der Abhandlung Kailas. In die Abszisse sind die reduzierten Werte des Objektfarbensektors eingetragen; die Ordinate drückt die Stärke der

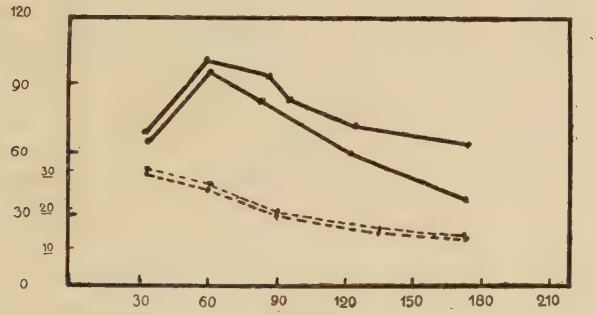

Fig. 20.
Figur orange, Beleuchtung blaugrün. Erklärung im Text (z. T. nach Kaila, a. a. O., Abb. 3).

Transformation aus als Differenz zwischen transformiertem und reduziertem Wert des Figurfarbensektors. Die Spiegelfarbe ist blaugrün, „die Objektfarbe ein dazu komplementäres Orange". Eine Abnahme der Beleuchtungsstärke ist also mit einer Vergrößerung der Abszisse identisch. Mit der Beleuchtungsstärke nimmt die Transformation zu, um bei etwa 60° der Abszisse plötzlich abzufallen.

Wir sind indessen nicht berechtigt, aus diesen Differenzen allzu weitgehende Schlüsse zu ziehen. Denn wie schon oben hervorgehoben wurde (S. 195), bedeutet eine Differenz von beispielsweise 30° Orange gemäß dem Weberschen Gesetz viel weniger, wenn von einer Reduktionsgleichung von 180° Orange ausgegangen wird, als wenn die Anfangsgleichung etwa 30° Orange beträgt. Um dies berücksichtigen zu können, führten wir die „Transformationskoeffizienten" ein, diejenigen Zahlen, mit denen die reduzierten Werte vervielfacht werden müssen, um die transformierten zu ergeben. Unter Anwendung eines Millimeterglases habe ich zu diesen Kurven die Transformationskoeffizienten berechnet, dann jeden Koeffizienten mit 10 multipliziert, d. h. die erste

Dezimale genommen, und aus den erhaltenen Zahlen zwei neue Kurven (gestrichelt) konstruiert. Wie ersichtlich, folgt dabei auch die komplementäre heterochrome Transformation dem Satz I; die Koeffizienten steigen kontinuierlich mit der Beleuchtungsstärke. Fig. 21 ist der Abb. 5

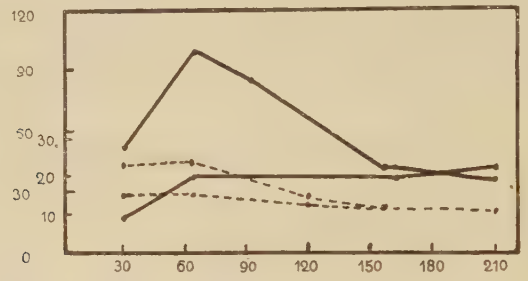

Fig. 21.
Figur gelb, Beleuchtung blau. Erklärung im Text (z. T. nach Kaila, a. a. O., Abb. 5).

(S. 39) von Kailas Arbeit entnommen. Die entsprechenden Kurven der Transformationskoeffizienten sind unten in die Tafel eingezeichnet worden. Hier ist das Maximum dieser Kurven tatsächlich nicht beim Beleuchtungsmaximum, sondern bei etwas größerer Abszisse. Es entspricht wirklich den Tatsachen am besten, wenn das Maximum der Kurven als ein Plateau bezeichnet wird. Die Kurven der Fig. 22 ge-

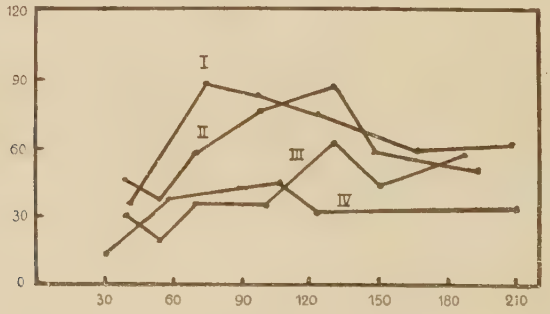

Fig. 22.
Figur grün, Beleuchtung purpurrot. Erklärung im Text.
(Nach Kaila, a. a. O., Abb. 1.)

hören zur Abb. 1 (S. 37) Kailas. Die entsprechenden Kurven der Transformationskoeffizienten finden sich in Fig. 23. Für II und III fallen

Beleuchtungs- und Transformationsmaxima zusammen, für I und IV nicht, so daß keineswegs ein eindeutiges Resultat vorliegt.

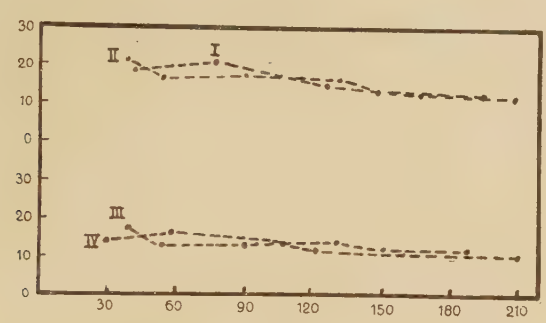

Fig. 23.
Die Transformationskoeffizienten zu den Kurven der Fig. 22.

Vervollständigen wir nun diese Versuche durch unsere Anordnung: die Figur ist rot, die Beleuchtung grün, und zwar im ersten Versuch (Tabelle VIII) schwach bläulich (Gelatine) grün, im zweiten gelblich

Tabelle VIII.

Abs. Reduktion und relative Bel.-Stärke	*S*-Sektor des Umfeldes			
	0°	160°	240°	360°
	+	+	+	±
25°	0*)	15	15	55
100	1·0	1·60	1·60	3·20
	+	+	+	+
85°	0*)	20	20	20
72	1·0	1·24	1·24	1·24
150°	0	30	30	30
42	1·0	1·20	1·20	1·20
220°	0	10	20	26
24	1·0	1·05	1·09	1·12
246°	0	9	14	18
18	1·0	1·04	1·06	1·07

Vp E. W. Figur rot, Beleuchtung grün mit einem blauen Gelatinefilter vor der Lampe *L*.

*) Nicht ganz gute Gleichung.

(Lampenlicht) grün (Tabelle IX). Wenn wir die Differenzen betrachten, so finden wir, daß sich in einigen Vertikalreihen die Maxima tatsächlich

Tabelle IX.

Abs. Reduktion und relative Bel.-Stärke	S-Sektor des Umfeldes			
	0°	160°	240°	360°
	+	+	+	±
30°	25	50	50	64
*)	1·83	2·67	2·67	3·13
40°	38	50	50	58
100	1·95	2·25	2·25	2·45
74°	36	58	58	66
72	1·49	1·78	1·78	1·89
160°	8	26	26	30
42	1·05	1·16	1·16	1·19
234°	0	0	0	0
24	1·0	1·0	1·0	1·0

Vp Verf. Figur rot, Beleuchtung grün.

*) Um diese hohe Beleuchtungsstärke herzustellen, ist ein Widerstand in die Leitung der Lampe L_1 eingeführt worden.

irgendwo in der Mitte befinden, was mit den Resultaten Kailas gut übereinstimmt, die Transformationskoeffizienten aber steigen fast ausnahmslos mit der Beleuchtungsstärke. Und doch ist in der obersten Horizontalreihe rechts die Figur gerade an der Sichtbarkeitsgrenze (±). Das einzige, was wir nach einer Vergleichung dieser Koeffizienten mit denen unserer reinsten nicht-komplementären Konstellationen (Tabelle VI und VII, S. 199 u. 200) mit einiger Sicherheit aussagen können, ist, daß bei den komplementären Konstellationen die Zunahme der Transformation um so weniger ausgeprägt ist, je mehr wir uns bei der Erhöhung der Beleuchtungsstärke dem Grenzwert für die Sichtbarkeit der Figur nähern. Diese These kann aber natürlich nur eine Konsequenz unserer Messungsmethode sein, welche die Tatsache nicht berücksichtigt, daß bei den obigen Konstellationen die heterochrome komplementäre Transformation sich mit der Beleuchtungszunahme allmählich in eine isochrome verwandelt. Dies beschreibt Kaila (a. a. O. S. 42) gut mit folgenden Worten: „Wenn sich . . . im roten Spiegel ein grünes Papier spiegelt, so ist bei den stärksten Beleuchtungen des Spiegels im Vergleich mit dem vorigen Falle (heterochrome nicht-komplementäre Konstellation) der Unterschied vorhanden, daß die Eigenfarbe des Objekts gar nicht zum Vorschein kommt. Die Aufspaltung ist deutlich, aber die Bildfarbe des Objekts ist nur weniger gesättigtes Rot, sie weicht

also von der Beleuchtungsfarbe nicht qualitativ ab. Im Spiegel werden nicht, wie im vorigen Falle, zwei qualitativ verschiedene Farben hintereinander gesehen, sondern nur zwei Sättigungsstufen einer und derselben Farbe (der Beleuchtungsfarbe)." Auch bei den nicht-komplementären Konstellationen sahen wir oben bei maximaler Beleuchtungsstärke Entsättigung eintreten; aber jene Sättigungseinbuße ist in der Tat verschwindend klein, verglichen mit den bei komplementärer Transformation zu beobachtenden Entsättigungserscheinungen.

Wenn wir die Transformation bei zunehmender Beleuchtung und komplementärer Konstellation messen, werden wir den Figurfarbsektor ständig verkleinern, was natürlich einer Entsättigung der Gleichungsscheibe gleichkommt. Bald erreichen wir dann den Punkt, wo die Entsättigung am größten ist. Dort erfolgt ein Umschlag. Bisher war die Farbe eine immer ungesättigter werdende Figurfarbe, jetzt wandelt sie sich, den neutralen Punkt passierend, in eine ungesättigte Beleuchtungsfarbe. In dieser Gegend versucht man vergebens, genaue Gleichungen einzustellen. Noch schwieriger aber wird die Messung, wenn man zu stärkeren Beleuchtungsgraden schreitet. Die Figur wird in der zunehmenden Beleuchtung immer ungesättigter werden, und zwar nimmt sie eine ungesättigte Beleuchtungsfarbe an (isochrome Transformation). Wird nun auf der Gleichungsseite der Sektor der Beleuchtungsfarbe vergrößert, so folgt daraus bald, daß sich die Beleuchtungsfarbe der Gleichungsscheibe mehr und mehr sättigt; wenn wiederum der Sektor der Beleuchtungsfarbe vermindert wird, so bewirkt dies zuerst eine Neutralisierung der Scheibe, sie wird farbloser, was auch nicht zum Eindruck der transformierten Figur paßt; dann nimmt sie die Figurfarbe an. Es tritt also bei einem gewissen Sektorenverhältnis sozusagen eine Stagnation ein, wenn phänomenal die gemischte hetero- und isochrome Transformation in eine rein isochrome übergeht. Die Einstellung der Gleichungen ist dort sehr schwierig, denn erst muß man zu einem verhältnismäßig großen Wert des Beleuchtungsfarbsektors übergehen, der dann wieder vermindert werden muß, um die zunehmende Entsättigung wiedergeben zu können. Auch kann man nicht behaupten, daß dabei die gewöhnliche Berechnung der Transformationsstärke ihre alte Bedeutung behielte. Denn die Transformation ist tatsächlich isochrom geworden, und die Berechnung ihrer Stärke geschieht noch, als wäre sie heterochrom.

Im Hinblick auf all das ist gut verständlich, daß bei maximaler komplementärer Transformation den Ergebnissen eine gewisse Unsicher-

heit anhaftet. So viel erscheint jedoch sicher, daß die Transformationskoeffizienten mit der Beleuchtungsstärke wachsen, solange ihnen überhaupt indikative Bedeutung zuzuerkennen ist. Auch wenn die Transformation in eine isochrome überschlägt und den Koeffizienten eine auschlaggebende Bedeutung als Indikatoren der Transformationsstärke nicht mehr zukommt — oder wenigstens nicht in ihrem vorigen Sinn —, sprechen die phänomenalen Beobachtungen doch dafür, daß diese isochrome Transformation tatsächlich mit der Beleuchtungsstärke zunimmt. Wir haben auch keinen Grund zur Annahme, daß dies nicht der Fall wäre. Warum sollte der Mechanismus der isochromen Transformation gerade hier einen neuen Weg einschlagen? Hat er doch allein wie in Verbindung mit der heterochromen nicht-komplementären Transformation ein und denselben Verlauf genommen, und zwar immer im Einklang mit dem Satz I.

Daß Kaila die Erklärung der heterochromen komplementären Transformation in einer „zentral gesteigerten" Kontrastwirkung sucht, wurde schon oben (S. 204) erwähnt. Diese Annahme ist nicht nur die nächstliegende, sondern stimmt auch mit den experimentellen Daten vorzüglich überein. Weil hier die Figurfarbe komplementär ist zur Umfeld- oder Beleuchtungsfarbe, tritt die Transformation bei den niedrigen und mäßig starken Beleuchtungsgraden eben als Vergrößerung des Komplementfarbsektors des Umfeldes zutage. Ein Überschuß an Beleuchtungsfarbe hat natürlich eine Entsättigung der Figur zur Folge, indem die beiden Komplementfarben einander neutralisieren. Die isochrome Transformation tritt in den Vordergrund. Bezüglich des Kontrastes liegen die Verhältnisse hier scheinbar einfacher als bei den bisher beschriebenen Transformationstypen.

VII. Die Feldgrößensätze von Katz.

Katz hat nachgewiesen (a. a. O. S. 30), daß sowohl für hetero- wie für achrome Transformation ein bestimmtes Verhältnis zwischen der Größe des beleuchteten bzw. beschatteten Gesichtsfeldes und der Transformationsstärke besteht.

An Hand einiger hierauf gerichteten Versuche von Katz wollen wir das klarlegen: Er hält z. B. vor das eine Auge ein Rauchglas und betrachtet durch das Glas, zunächst in geringer Entfernung von der Zimmerwand, einige dort befindliche Objekte. Diese erscheinen dann nicht oder nur wenig transformativ verändert. Bewegt er sich dann nach hinten, das Glas in demselben Abstand vom Auge haltend, so wird nicht

nur der Eindruck einer abgeschwächten Beleuchtung phänomenal deutlicher, sondern breitet sich auch seitwärts aus, ein je größerer Teil der Außenwelt durch das „Rauchglas zu überblicken ist" (S. 315). Hierbei werden zugleich die Objekte transformativ immer mehr verändert. Die Größe desjenigen „Netzhautgebietes, dem durch das Rauchglas Licht entzogen wird, bleibt bei den verschiedenen Entfernungen des Beobachters von der Wand annähernd dieselbe" (S. 314). — Worum es sich hierbei handelt, zeigt die Tatsache, daß sowohl der Eindruck einer anormalen Beleuchtung als auch die transformativen Veränderungen der in dieser Beleuchtung gesehenen Figurfarben, bei gleichbleibender Entfernung eines Rauchglases oder Gelatinefilters vom Auge sich mit um so größerer Deutlichkeit einstellen, je größer die Fläche des Glases oder Filters genommen wird.

Es soll hier bemerkt werden, daß diese Gesetzmäßigkeit auch für die isochrome Transformation volle Gültigkeit besitzt. Ich habe z. B. den ersten oben geschilderten Versuch mit einem Rotglas und einer roten Figur gemacht und fand dabei, daß, wenn ich das gefärbte Gesichtsfeld erweiterte, die Figur zugleich immer weißlicher wurde. Auch kann man den oben (S. 165) gefundenen Zusammenhang zwischen *W*-Valenz der Figurfarbe und isochromer Transformation hier aufs neue konstatieren: denn je höher die *W*-Valenz der Figur, desto größer ihre Entsättigung, ihre Weißlichkeit, vorausgesetzt, daß die Zimmerwände nicht allzu hell sind, wobei man Entsättigungen nur bei spezifisch hellen Figurfarben beobachten kann, während die spezifisch dunklen kontrastiv verdunkelt werden. — Die geläufige Beobachtung, daß glühende Zigarren in einem rotbeleuchteten Zimmer weißes Licht auszustrahlen scheinen, verdient auch hier erwähnt zu werden.

Diese „Tatsachen der Beleuchtungsänderung bei Änderung der wahren Größe (Änderung der Größe des Netzhautbildes bzw.) der scheinbaren Größe (Gleichbleiben der Größe des Netzhautbildes) eines abweichend beleuchteten Bezirks des Sehfeldes" sind von Katz mit dem Namen Feldgrößensatz I. bzw. II. Ordnung belegt worden. Es besagen also die Feldgrößensätze u. a., daß die Transformation mit der Ausdehnung des anormal beleuchteten Gesichtsfeldes zunimmt. Die Messung der Transformationsstärke gestattet daher eine numerische Bestimmung der Feldgrößensätze, wie sie Katz vorgenommen hat.

Wir wollen nun in diesem Zusammenhang ebensowenig wie früher auf die Frage eingehen, wie die Änderung des Beleuchtungseindruckes zustande kommt. Wir halten nur daran fest, daß in den obigen Versuchen von Katz tatsächlich eine neue Methode angegeben worden ist, den Beleuchtungseindruck seinem phänomenalen Charakter nach zu ver-

deutlichen und verstärken. Wir kamen ja oben zu dem Schluß, daß es für den Ausfall der Transformation gleichgültig war, auf welchem Wege der Eindruck einer zunehmenden Beleuchtung erreicht wurde. In unseren ersten Versuchsreihen (Anordnung I) kamen die phänomenalen Veränderungen im Beleuchtungseindruck durch Variation des *S*-Sektors des Umfeldes zustande, in den Horizontalreihen (Anordnung II) der Spiegelversuche desgleichen, während in den Vertikalreihen eine reale Überlagerung mit Beleuchtungsfarbe vorhanden war. Und ganz allgemein bestand die Gesetzmäßigkeit, daß mit der zunehmenden Ausgeprägtheit der Beleuchtungswahrnehmung die Transformation an Stärke gleichfalls zunahm, zu Recht. Daß im Feldgrößensatz nun die gleiche Gesetzmäßigkeit des Verlaufs der Transformation zum Ausdruck kommt, darf uns daher nicht verwundern. Für unsere Theorie aber ist dieser Sachverhalt von großer Bedeutung.

Mit dem Nachweis, daß im Transformationsversuch die Kontrastkurven für die Figur in anderer Weise verliefen als für ihren umgekehrten Grund, wurde einem rein phänomenalen Tatbestand, dem Figur-Grundunterschied, eine zentrale Stellung im Gebiet der Transformationserscheinungen angewiesen. Später konnten wir zeigen, daß die Figur- oder Transformationskurven auch unter Zugrundelegung kontrast-theoretischer Annahmen erklärbar waren. Und mit der Versuchsanordnung II konnten wir den „Nachweis" erbringen, daß die Transformation bei — von einem nicht-phänomenal fundierten Standpunkt heraus — rein kontrastiv wirkender Variation des Umfeldes sich ebenso verhielt wie bei transformativ und kontrastiv wirkender Überlagerung mit Spiegelfarbe, daß somit Kontrast und Transformation aller Wahrscheinlichkeit nach identische Prozesse sind. Wir zogen diesen Schluß aber nicht, sondern benutzten diese Tatsache nur, um nachzuweisen, daß die mit unserer Anordnung I ausgeführten Versuche wirklich Transformationsversuche waren. Daß die transformative Veränderung in den Horizontal- und Vertikalreihen der Anordnung II im gleichen Sinne ausfiel, erklärten wir durch den Hinweis darauf, daß in den beiden Fällen die phänomenalen Veränderungen des Beleuchtungseindruckes dieselben waren.

Der Feldgrößensatz zeigt nun, daß das phänomenal Gegebene in der Tat im Mittelpunkt der Erklärung stehen muß. Denn es ist in diesbezüglichen Versuchen für den Ausfall der Transformation einerlei, ob der anormal beleuchtete Netzhautbezirk eine reale Vergrößerung erfährt oder nicht, wenn nur der Eindruck einer Vergrößerung des beleuchteten Gesichtsfeldes irgendwie zustande gebracht wird. Nimmt die wahre

Größe des anormalen Beleuchtungsgebietes zu, so muß dies eine gesteigerte Kontrastwirkung seitens dieses Gebietes bewirken[1]) was nach unserer Theorie die Transformation seinerseits begünstigt. Um die gleiche Behauptung aufrechterhalten zu können, wenn das anormal beleuchtete Gesichtsfeld nur eine scheinbare Vergrößerung erfährt, muß angenommen werden, daß der dem Kontrast unterliegende Prozeß auch von der jeweiligen phänomenalen Situation beeinflußt wird. Die scheinbare Vergrößerung des anormal beleuchteten Netzhautbezirkes muß der realen als gleichwertig zur Seite gestellt werden.

Daß die induktiven Prozesse tatsächlich von den phänomenalen Gegebenheiten beeinflußt werden, ist von verschiedenen Autoren festgestellt worden. Oben erwähnten wir schon (S. 152) die sogenannten farbigen Angleichungserscheinungen, von denen Fuchs (a. a. O. S. 303) ausdrücklich bemerkt, „daß bei denselben Reizgegebenheiten (von mir gesperrt) durch bestimmte Gestaltauffassungen Angleichungserscheinungen, durch andere Gestaltsauffassungen Kontrastwirkungen erzielbar sind". Und Fuchs hat auch Beziehungen gesehen zwischen diesen Erscheinungen und der Transformation. Er bemerkt u. a.: „Die Wirkung des Gestaltfaktors auf die Farbenphänomene zeigt sich auch klar in vielen alltäglichen Fällen, wo man herkömmlicherweise eine Gedächtnisfarbe als mitspielend ansieht" (S. 308ff.), und nimmt als Beispiel die Katzschen Ausführungen über die Bedeutung des Netzhautzentrums für die Transformation. Die diesbezüglichen Versuche von Katz lassen sich restlos erklären unter Annahme einer farbigen Angleichung (siehe bes. S. 312ff.). In diesem Zusammenhang sind auch die Versuche von Wertheimer-Benary[2] anzuführen, die einen Einfluß der „Flächenzugehörigkeit" auf den Kontrast nachwiesen. Unsere Feststellung, daß bei Variation der Umfeldhelligkeit bei konstanter Beleuchtung die Figurkurven einen anderen Verlauf zeigen als die Grundkruven, gehört zum selben Tatsachengebiet. Wie Fuchs, so haben wir auch die Wirkung des Gestaltfaktors im Sinne des Wertheimerschen Prägnanzsatzes gedeutet. Der Kontrast wirkt im Dienste der Figurprägnanz.

Wir haben diese Feststellung nicht bei jedem Versuch wiederholt, nachdem sie in der ersten Abteilung dieser Untersuchung einmal gemacht worden war. Wir hielten es nicht für notwendig, bei jeder neuen

---

[1] Nach Kirschmann (*Wundts Philos. Studien*. 1891. Bd. VI. S. 457) wächst der Kontrast proportional der linearen Ausdehnung des induzierenden Feldes.

[2] W. Benary, Beobachtungen zu einem Experimente über Helligkeitskontrast. *Psychol. Forschung*. 1924. Bd. V. S. 131—142.

Konstellation aufs neue zu betonen, daß sich die Figurkonstellationen bei der Transformation wirklich prägnanter heraushoben. Ist es doch gut verständlich, daß bei der heterochromen nicht-komplementären Transformation die Eigenfarbe der Figur im Hinblick auf die Prägnanz der Gestalt transformativ hervortreten muß, um die durch Überlagerung mit Spiegelfarbe gedrohte Figur „zu retten". Daß dabei nicht die Aufrechterhaltung der Farbenkonstanz der Figur das Wesentliche, die Idee der Transformation ist, können wir aus den analogen Versuchen mit isochromen und heterochromen komplementären Konstellationen schließen, wo Entsättigungserscheinungen auftreten, um die Figur prägnant hervorzuheben. Mit Rücksicht auf die Sättigungseinbußen sagt übrigens Bühler (a. a. O. S. 111): „Man darf bei so offenkundigen quantitativen Unterschieden nicht qualitativ Ähnliches ohne weiteres über denselben Leisten (genannt „Farbenkonstanz der Sehdinge") schlagen."

Ehe wir dieses Kapitel über den Feldgrößensatz abschließen, soll noch auf eine zweite Möglichkeit hingewiesen werden, diesen Satz im Einklang mit der Figurtheorie zu erklären. Rubin (a. a. O. § 11) hat dargetan, daß, wenn von zwei homogenen, verschieden gefärbten Feldern das eine größer ist und das andere umschließt, das kleine Feld in der weit überwiegenden Anzahl der Fälle als Figur aufgefaßt wird. Wir haben diesem Satz in einer früheren Arbeit[1] ein Korollarium beigefügt und an Hand davon einige experimentelle Resultate erklärt. Wir führten aus, daß man nach dem Rubinschen Satze erwarten sollte, daß das Verhältnis, Größe der Figur zu Größe des Umfeldes, die figurale Ausgeprägtheit beeinflussen würde und zwar so, daß die Vergrößerung der Figur eine Abnahme, ihrer figuralen Ausgeprägtheit bewirken, während dagegen die Vergrößerung des Umfeldes die Figur hervorheben würde. In dieselbe Richtung könnte nun auch die Vergrößerung der anormal beleuchteten Bezirks wirken, die Figur deutlicher hervortreten lassen, und zwar auf dem Wege der transformativen Mechanismen.

VIII. Figur und Beleuchtung. Transformation und Kontrast.

Nach dem Vorgang früherer Autoren habe ich meine experimentelle Arbeit hauptsächlich dem Studium der transformativen Veränderungen im Figurerlebnis gewidmet; die Veränderungen im Beleuchtungs-

[1] Granit, Die Bedeutung von Figur und Grund für bei unveränderter *S*-Induktion bestimmten Helligkeitsschwellen. *Dies Archiv.* 1924. Bd. XLV. S. 53ff. Vgl. auch V. Benussi, Experimentelles über Vorstellungsinadäquatheit. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* I. 1906. Bd. XLII. S. 51.

eindruck sind zwar mitberücksichtigt, aber nicht des näheren messend oder vergleichend studiert worden. Zweifellos macht sich darin eine gewisse Einseitigkeit geltend, die größtenteils von der unvollkommenen Methodik der Beleuchtungsmessung abhängt. Es müssen dort künftige Untersuchungen einsetzen. Wertvolles haben schon Schumann, Katz, Fuchs[1] und Henning[2] geleistet. Katz verdanken wir die wichtige Feststellung, daß eine — aus Milch und Wasser in einem Glastrog hergestellte — nebelhafte Raumfarbe als „Nebel nur sichtbar bleibt, solange Gegenstände durch ihn gesehen werden; er verschwindet, sobald dies nicht mehr der Fall ist, z. B. vor der Himmelsfläche" (a. a. O. S. 312). Es ist also für das Zustandekommen des Beleuchtungseindruckes notwendig, daß in der Beleuchtung ein Gegenstand gesehen wird (vgl. auch Katz, a. a. O. S. 351). Weitere Bedingungen für das simultane Hintereinandersehen hat Fuchs angegeben, er hat aber hauptsächlich mit durchsichtigen Flächenfarben gearbeitet und ist auf die Scheidung von Beleuchtung und Beleuchtetem nicht näher eingegangen. Fuchs stellt als erste Bedingung für ein Hintereinandersehen von zwei Farben fest, daß beide als gestaltete Einheiten, Ganzgestalten, erfaßt werden (S. 173). Aber auch wo diese Voraussetzung erfüllt ist, tritt nicht immer Durchsichtigkeit auf. Es ist dazu noch erforderlich, daß „von der vorderen Gestalt Teile die hintere überragen" (S. 176). Dann stellt sich erst Durchsichtigkeit und Aufspaltung ein.

Nun ist eine farbige Beleuchtung nicht in diesem Sinn als Ganzgestalt gegeben. Fuchs bemerkt dazu: „Die Scheidung von Beleuchtung und Beleuchtetem scheint wohl die letzte Stufe der Farbentrennung zu sein" (S. 220). Aber wenn schon die anormale Beleuchtung des spezifisch formalen Charakters entbehrt, ist sie doch in dem Sinne gestaltet, daß sie eine innere phänomenale Kontinuität besitzt, sie erweckt einen ganz eigenartigen Eindruck. Besonders deutlich trat die phänomenale Selbständigkeit des Beleuchtungseindruckes bei unserer Spiegelanordnung hervor. In den Horizontalreihen wurde der Schwarzsektor des Umfeldes vergrößert — die objektive Veränderung betraf also nicht das vom Figurfeld reflektierte Licht — und trotzdem ging damit parallel eine immer vollständiger werdende Überlagerung der Figur mit Beleuchtungsfarbe. Es scheint also, als wäre die Transforma-

[1] Fuchs, Exp. Unters. über das simultane Hintereinandersehen auf derselben Sehrichtung. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* I. 1923. Bd. XCI.

[2] H. Henning, Ein optisches Hintereinander und Ineinander. *Ebenda.* 1921. Bd. LXXXVI.

tion gewissermaßen ein gegenseitiger Vorgang, nicht nur die Figurfarbe wird transformativ verändert, sondern auch der Beleuchtungseindruck. Von den Veränderungen der Beleuchtungsfarben müssen wir in der Zukunft ausführlicher unterrichtet werden. Mir scheint es nicht wahrscheinlich, daß die schon mehrmals besprochene Farbenkonstanz — die sich nicht als ausreichend erwies zum Charakterisieren der transformativen Veränderungen der Figurfarbe —, die transformative Veränderung des Beleuchtungseindruckes gut charakterisieren würde. Denn bei der Transformation legt sich die Beleuchtung als annähernd homogen gefärbte Raumfarbe vor dem andersfarbigen Ding, akzentuiert seine Eigenfarbe und mischt sich nicht mit der Dingfarbe wie bei der absoluten Reduktion. Systematische Beobachtungen über die Veränderungen der Beleuchtungsqualität bei der Transformation habe ich — wie gesagt — jedoch nicht vorgenommen.

Die oben angeführten Tatsachen stellen alle als sehr wahrscheinlich dar, daß es für das Entstehen eines Beleuchtungseindruckes von großer Bedeutung ist, daß im beleuchteten Gebiet eine Figur gesehen wird (vgl. oben Katz und Fuchs). Sie stimmen somit gut mit unserer Annahme überein, daß die Transformation ein Mechanismus im Dienste der Figurprägnanz ist. Der Anstoß zur Scheidung zwischen Beleuchtung und Beleuchtetem geht von der Figur aus. Wenn in das anormal beleuchtete homogene Gesichtsfeld ein geformtes Element eingeführt wird, so geht damit die Eindeutigkeit der reizphysikalischen Konstellation verloren. Nach dem Prägnanzsatz strebt nun die Gestalt nach formaler Prägnanz, sie leitet eine Reaktion gegen die drohende Überlagerung mit Beleuchtungsfarbe ein. Phänomenal ist das Endergebnis dieser Beleuchtungsreaktion, der Transformation, eine Aufspaltung des Eindruckes in eine Figur- und eine Beleuchtungskomponente.

Insofern sie sich auf die Figur bezieht, wird die Transformation nach der oben entwickelten Theorie mit Hilfe des Kontrastes vollzogen — wo nicht „Angleichung" eintritt. Es setzt diese Annahme voraus, daß der Kontrast seiner Lokalisation nach zentral ist, oder wenigstens seine Wirkung bis ins Zentrum erstreckt. Heutzutage ist wohl allgemein anerkannt, daß dies wirklich der Fall ist. Schon im Jahre 1903 konnte Tschermak in seinem Sammelbericht „Über Kontrast und Irradiation"[1] die These verfechten, daß Kontrast und Komponentenantago-

[1] A. Tschermak, *Ergebnisse der Physiologie* (*Asher-Spiro*) II. 2. 1903. S. 774ff.

nismus „präterminal" zu lokalisieren waren, „und zwar vorwiegend, aber nicht ausschließlich in das Gebiet mit Sonderung der beiden Sehorganhälften" (S. 778). Und G. E. Müller scheint nunmehr die zentrale Lokalisation des Kontrastes als einfache Tatsache hinzunehmen (vgl. zum Beispiel die auf S. 169 zitierte Arbeit, S. 93). Das Vorkommen eines binokulären Kontrastes, Kontrasterscheinungen am blinden Fleck, auf Farbenskotomen sowie bei Typen der peripheren Farbenblindheit[1], gehören zu den diese Einsicht fundierenden Tatsachen. Erwähnenswert ist noch, daß Frölich[2] am Cephalopodenauge mit dem Saitengalvanometer nachweisen konnte, „daß in der Nachbarschaft einer belichteten Netzhautstelle keine gegensinnige, sondern nur gleichsinnige Vorgänge, aber wesentlich geringerer Intensität ablaufen", was entschieden gegen eine retinale Lokalisation des Kontrastes spricht. Der Kontrast ist also zentral — nach Müller — jenseits der Gratioletschen Sehstrahlung zu lokalisieren; Näheres über die Beziehungen des Kontrastes zu einer formalen Zone läßt sich wohl nicht sagen.

Daß Kontrast und Transformation ganz identische Prozesse wären, wollen wir nicht behaupten. Denn den phänomenalen Unterschieden müssen auch Unterschiede im psychophysischen Geschehen entsprechen. Nur so viel haben wir nachzuweisen versucht, daß die transformativen Veränderungen einer Figurfarbe in der Regel auf kontrastivem Wege erfolgen. Und wenn man dies berücksichtigt, daß — gleiche In- und Umfeldfarben vorausgesetzt — derselbe induktive Prozeß einmal bei normaler, das andere Mal bei anormaler Beleuchtung auftritt, so ist gut zu verstehen, daß zwischen Kontrast (bei normaler Beleuchtung) und Transformation keine vollständige Parallelität besteht. Die verschiedenen phänomenalen Gegebenheiten stellen sozusagen verschiedene Anforderungen an denselben Mechanismus. — Wir wollen unten die wichtigsten Argumente gegen eine Erklärung des transformativen Figurgeschehens mit Hilfe des Kontrastes betrachten.

Jaensch und seine Mitarbeiter haben bekanntlich (siehe oben S. 150) einige sogenannte Parallelgesetze für Kontrast und Transformation formuliert, welche alle im folgenden Satz zusammengefaßt werden: Gesetze des Kontrastes gehen über in Gesetze der Transformationserscheinungen, wenn man in den Kontrastgesetzen den Terminus „Umfeld" er-

[1] Vgl. dazu G. E. Müller, *Darstellung und Erklärung der verschiedenen Typen der Farbenblindheit.* Göttingen 1924. S. 31ff.

[2] F. W. Frölich, Weitere Beiträge zur allgemeinen Physiologie der Sinne. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiologie d. Sinnesorg.* II. 1914. Bd. XLVIII. S. 374.

setzt durch den Terminus „beleuchteter Raum“ (a. a. O. oben S. 148). Indessen kann nicht schlechthin über die Tatsache hinweggegangen werden, daß in einem Transformationsversuch sowohl Infeld als Umfeld[1] von der Beleuchtung bzw. Beschattung überlagert sind, während in einem dazu parallelen Kontrastversuch entweder Infeld oder Umfeld eine objektive Veränderung erfahren hat. Dieser prinzipielle Unterschied zwischen Kontrast und Transformation muß immer in Betracht gezogen werden. Einmal können die Verhältnisse derart liegen, daß es zufälligerweise so aussieht, als wäre z. B. die kontrastive Umfeldswirkung dem transformativen Einfluß eines beleuchteten Raumes ganz gleich zu setzen, ein anderes Mal kommt keine Parallelität zum Vorschein, vielleicht sogar eher das Gegenteil. Als Beispiel der erstgenannten Möglichkeit nehmen wir aus der Arbeit von Jaensch und Müller (a. a. O.) das „Parallelgesetz über das Verhalten der Beeinflussung bei verschiedener Helligkeitsdifferenz der Umfelder (beleuchteten Räume)“ (S. 308ff.). Für den Umgebungskontrast gilt dann: „Die durch ein dunkles Umfeld bewirkte Kontrastaufhellung ist um so größer, je dunkler das Umfeld ist“; und für die Transformation: „Die subjektive Aufhellung einer beschatteten Scheibe ist um so größer, je stärker die Beschattung ist“ (zur Erklärung, vgl. oben S. 201ff.). Eine Parallelität im Sinne Jaenschs ist offenbar vorhanden. — Als Beispiel der zweiten Eventualität sei genannt:

„Das Parallelgesetz über die Beeinflussung bei steigender W-Valenz“ (S. 286ff.). Benutzt wird die Heringsche Lochmethode, um Helligkeitskontrast herzustellen. Gegeben sind zwei gleich helle Infelder, das eine in hellerem Umfeld (a), das andere in dunklerem Umfeld (b). Die Infeldwerte unter a (Tab. X) werden nacheinander

Tabelle X.

(Die drei ersten Vertikalreihen [links] nach Jaensch und Müller.)

Unter a	Unter b	Die Quotienten $\frac{b\text{-Infeld}}{a\text{-Infeld}}$	Die Quotienten $\frac{a\text{-Infeld}}{b\text{-Infeld}}$
360° W	199° W	0·553	1·809
330	163	0·494	2·025
300	110	0·366	2·727
270	57	0·211	4·737
240	30	0·133	8·000
210	14	0·066	15·000

[1]) In- und Umfeld hier im gewöhnlichen Sinn als derselben Konstellation angehörend.

eingestellt; zu jedem auf diese Weise erhaltenen Infeld wird das mit ihm gleich helle Infeld unter *b* gesucht. Die drei ersten Vertikalreihen (links) der nachstehenden Tabelle stellen die erhaltenen Werte mit den Quotienten $\frac{b\text{-Infeld}}{a\text{-Infeld}}$ dar. Nun glauben Jaensch und Müller, daß man diese Quotienten „als ein Maß der Kontrastwirkung" ansehen kann, und daß man an ihnen ein Mittel besitzt, „die Größe der Kontrastwirkung in den verschiedenen Fällen zu vergleichen" (S. 286). Das mag sein, aber sie ziehen noch den ganz unberechtigten Schluß, daß die Größe der Kontrastwirkung den Quotienten direkt proportional ist, daß m. a. W. der Kontrast mit den Quotienten zunimmt. „Die durch den Umgebungskontrast bewirkte scheinbare Helligkeitsänderung (ist) um so größer, je heller das Infeld ist" (S. 287). In der Tat verhält es sich gerade umgekehrt, was aus folgender Überlegung direkt hervorgeht: gesetzt den Fall, daß sich im hellen Umfeld (*a*) ein weißes Infeld (360° *W*) befindet (erste horizontale Zifferreihe). Um Gleichheit mit diesem herzustellen, ist im dunklen Umfeld (*b*) ein Infeld von nur 199° *W* nötig. Der Rest $360^0 - 199^0 = 161^0$ *W* wird kontrastiv zugefügt. Der Quotient $\frac{a\text{-Infeld}}{b\text{-Infeld}}\left(\frac{360}{199}\right)$, in diesem Fall 1·809, würde also ein Maß der Kontraststärke darstellen. Das im dunklen Umfeld befindliche Infeld ist um 1·809mal kontrastiv aufgehellt worden. In der letzten Zifferreihe ist im hellen Umfeld ein Infeld von 210° *W*. Im dunklen Umfeld sind nur 14° *W* zum Infeld nötig, um Gleichheit zu ergeben. Der entsprechende Quotient 210/14 ist hier 15·0. In der letzten Vertikalreihe sind die von mir ausgerechneten Quotienten eingeführt worden. Aus ihnen kann die relative Größe der Kontrastwirkung abgelesen werden. Zu den Quotienten von Jaensch und Müller ist die Stärke des Kontrastes umgekehrt proportional, ihr Gesetz muß also umgekehrt werden.[1]

Zu diesem Versuch gehört ein „Parallelversuch" für die Transformation: es stehen zwei Kreisel, K_1 und K_2, gegen einen mittelgrauen Hintergrund. Der eine K_2 ist normal beleuchtet, der andere K_1 beschattet. Nacheinander werden auf dem beschatteten (!) Kreisel die in der linken Kolumne (Tabelle XI) angeführten Werte eingestellt und dann auf dem normal beleuchteten die dazu gehörigen Gleichungen gesucht. Falls nun zwischen Transformation und Kontrast Parallelität im Sinne Jaenschs bestehen würde, so müßte der beschattete K_1-Kreisel dem im dunklen Umfeld befindlichen *b*-Infeld entsprechen. Wenn Jaensch und Müller den Quotienten $\frac{b\text{-Infeld}}{a\text{-Infeld}}$ der Kontrastkonstellation ermitteln, müssen sie folglich für die Transformationskonstellation das Verhältnis $\frac{K_1\text{-Kreisel}}{K_2\text{-Kreisel}}$ ausrechnen. Wie G. E. Müller (a. a. O. oben S. 151) nachgewiesen hat, teilen sie aber hier das Verhältnis $\frac{K_2\text{-Kreisel}}{K_1\text{-Kreisel}}$

[1] Ganz einwandfrei ist diese Berechnungsmethode nicht, die Tendenz der kontrastiven Veränderung ist aber unverkennbar.

Tabelle XI.

(Nach Jaensch und Müller.)

Auf K_1	Auf K_2		Die Quotienten von K_2 und K_1 $\left[\frac{K_2\text{-Kreisel}}{K_1\text{-Kreisel}}\right]$
360° W	120 W*)	4° Blau	0·339
330	95	4	0·294
300	82	4	0·273
270	60	1	0·222
240	46		0·192
180	25		0·139
80	6		0·075

*) In die Weißvalenz von K_2 ist die Weißvalenz des blauen Sektors, die nach der Peripheriemethode von Hess bestimmt wurde, miteingerechnet.

mit und erhalten auf diese Weise „Parallelität" ihrer Ergebnisse. Dazu bemerkt G. E. Müller: es liegen also hier keineswegs zwei Parallelgesetze, sondern vielmehr zwei Gesetze von entgegengesetztem Charakter vor" (a. a. O. S. 4). — Wenn nun mitberücksichtigt wird, daß im Transformationsversuch die Beschattung auch die Helligkeit der Figur herabsetzt, während im „parallelen" Kontrastversuch die Figur nur eine kontrastive Aufhellung erfährt, so liegt die Erklärung der Diskrepanz im Sinne unserer Theorie auf der Hand: Beschattung und Hintergrund sind im Transformationsversuch konstant. Der dunkle beschattete Hintergrund kompensiert also die ganze Versuchsreihe hindurch kontrastiv annähernd dieselbe Menge vom die Figur überlagernden „Schattendunkel", so daß sich die Vergrößerung des Weißsektors der Figur rein in den Quotienten kundgibt. Weil somit die Kontrastwirkung seitens des beschatteten Grundes sozusagen „in Anspruch genommen wird" zur Kompensierung der Beschattung der Figur, kommt das im Kontrastversuch gefundene Gesetz gar nicht zum Vorschein. Daß Kontrast und Transformation bei diesem „Parallelversuch" ein entgegengesetztes Verhalten aufweisen, stellt somit keine Instanz gegen unsere Theorie dar.

Das fundamentale Parallelgesetz von Jaensch, nachdem also das Umfeld eines Kontrastversuches durch den beleuchteten Raum des zugehörigen Transformationsversuches ersetzt werden kann, hat sich als direkt unrichtig erwiesen (siehe auch die einschlagenden Ausführungen G. E. Müllers, a. a. O.). Ich werde daher nicht auf Einzelheiten der diesbezüglichen Untersuchungen eingehen, beschränke mich nur auf die Erwähnung eines Versuches von Jaensch und Müller, der darlegen soll, daß die Transformation nicht auf Kontrast zurückführbar ist:

„Auf dem beschatteten Hintergrund H_1 ist weißes Papier, auf dem normalbeleuchteten Hintergrund H_2 ist Tuchschwarz aufgezogen. Durch den Doppelschirm betrachtet (d. h. reduziert), ist das beschattete weiße Papier von H_1 deutlich heller als das beleuchtete schwarze von H_2; H_1 ist also trotz der Beschattung objektiv heller als H_2.

Beispiel: Vp. M.

Objektive Gleichheit von K_1 und K_2 wird (mit Doppelschirm) erzielt bei:

$K_1 = 360^0\ W$ $\quad$ $K_2 = 19^0\ W$ (reduzierte Gleichungen).

Bei Betrachtung über den Doppelschirm hinweg oder nach Entfernung des Doppelschirmes ist subjektive Gleichheit vorhanden bei:

$K_1 = 360^0\ W$ $\quad$ $K_2 = 110^0\ W$ (transformierte Gleichungen).

Gleichzeitig erscheint auch H_1 beträchtlich heller als H_2.

K_1 hat demnach auch bei dieser Abänderung des Versuches eine subjektive Aufhellung erfahren, während — gerade umgekehrt eine Verdunklung zu erwarten wäre; denn der Hintergrund von K_1 ist jetzt objektiv heller als der von K_2" (a. a. O. S. 284—285, teilweise von mir gesperrt).

Dieser Versuch soll nicht nur beweisen, daß „die Transformation nicht als ein Spezialfall des Umgebungskontrastes anzusehen ist" (a. a. O. S. 285), sondern auch, daß die Zurückführung der Transformation auf Kontrast unstatthaft ist. Jaensch sagt nämlich in einer anderen Arbeit (a. a. O. oben S. 148): „Im Falle der Helligkeitstransformation konnten wir (a. a. O.) mit Strenge nachweisen, daß die Erklärung (sc. der Transformation) mit Hilfe des Kontrastes unzutreffend ist" (S. 167). Wie ersichtlich, gründet sich dieser „Nachweis" auf die Voraussetzung, daß der Kontrast ein rein retinaler Prozeß ist, der nur von der Helligkeitsverteilung innerhalb einer reduzierten Konstellation beeinflußt wird. Indessen ist oben — mit unserer ersten Versuchsanordnung — zum mindestens ebenso „streng" nachgewiesen, daß der Kontrast in der Tat von der jeweiligen phänomenalen Gegebenheit beeinflußt wird. Wir zogen ja auch Experimente anderer Autoren an, die dies ebenso unzweideutig nachwiesen.

Daß im obigen Versuch von Jaensch und Müller K_1 nicht eine Verdunkelung erfuhr, sondern eine Aufhellung, bedeutet in letzter Linie nur, daß zwischen Transformation und Kontrast ein quantitativer Unterschied besteht, wie das Kroh (a. a. O. S. 214) wirklich nachgewiesen hat. Er hat nämlich gefunden, daß ein Infeld durch eine

farbige Beleuchtung stets stärker beeinflußt wird als durch ein farbiges Umfeld von gleicher retinaler Wirksamkeit. Die demnach bei der Transformation vorhandene gesteigerte Kontrastwirkung ist, wie es mir scheint, unter Berücksichtigung der phänomenalen Gegebenheit gut zu verstehen. Die Überlagerung der Figur mit Beleuchtungsfarbe bedeutet im Hinblick auf die Prägnanz der Figur einen viel störenderen Eingriff als eine Veränderung im Umfeld allein. An den Kontrastmechanismus werden in diesem Fall höhere Anforderungen gestellt.

In diesem Zusammenhang muß erwähnt werden, daß auch im bekannten Florkontrastversuch eine stärkere Kontrastwirkung hervortritt als die gewöhnliche. Hier wirkt offenbar die Überdeckung mit Florpapier, ähnlich wie bei der Überlagerung mit Beleuchtungsfarbe, anregend auf den Kontrast (vgl. dazu Kroh, a. a. O. S. 271). Daß die sogenannten farbigen Schatten nicht Erscheinungen des Simultankontrastes, sondern Ergebnisse der „Berücksichtigung der Beleuchtung" sind, hat Kroh (a. a. O. S. 269) schon hervorgehoben.

Es soll gar nicht verneint werden, daß zwischen den Kontrast- und den Transformationserscheinungen in manchen Fällen eine deutliche Diskrepanz besteht — wie dies mit besonderem Nachdruck G. E. Müller in seiner Beurteilung der Arbeiten von Jaensch und seinen Mitarbeitern hervorgehoben hat —, aber an sich ist das kein entscheidender Einwand gegen unsere Theorie. Denn wir haben ja nicht Kontrast und Transformation als identische Vorgänge bezeichnet, sondern nur geltend gemacht, daß bei der Transformation gewissermaßen eine Art „Ausnutzung des Kontrastmechanismus im Sinne der figuralen Prägnanz" vorliegt.

Es ist damit implizite schon gesagt worden, daß im einzelnen Fall die phänomenale Situation von Belang ist. Wenn z. B. eine grüne Figur einmal in einem roten Umfeld liegt, das andere Mal in roter Beleuchtung erscheint, so bezeichne ich keineswegs – wie Jaensch – die Konstellationen als „parallel". Wie unrichtig eine solche Behauptung wäre, stellt sich in dem Falle besonders klar heraus, wo die rote Beleuchtung die Figur eben noch hervortreten läßt. Die Figur der Beleuchtungskonstellation würde dabei isochrom transformiert, d. h. weißlich ungesättigt sein, während sie in der Kontrastkonstellation bei maximaler Sättigung des Umfeldes in schönem gesättigtem Grün leuchten würde.[1]

[1]) Vgl. E. Hering, Eine Vorrichtung zur Farbenmischung usw. *Pflügers Archiv.* 1888. Bd. XLII. S. 137ff.

Aus der Arbeit G. E. Müllers seien einige Punkte herausgegriffen. Er betont, daß für „das Eintreten und die Ausgeprägtheit der (Transformations-) Erscheinungen die Wahrnehmung der Oberflächenstruktur der betreffenden Gesichtsobjekte von wesentlicher Bedeutung (ist). Dagegen wird die Deutlichkeit einer Kontrastfarbe bekanntermaßen durch die Wahrnehmung einer Körnung oder Faserung der Oberfläche, auf welcher die Kontrastfarbe erscheinen soll, wesentlich beeinträchtigt" (S. 12). Auch diesen Sachverhalt kann man sich durch einen Hinweis auf den phänomenalen Unterschied zwischen den beiden Konstellationen verständlich machen. Die Sichtbarkeit einer Oberflächenstruktur bei der Transformation kommt einer Begünstigung der Figur gleich, d. h. desjenigen Faktors, dessen große Bedeutung für die Transformation oben nachgewiesen wurde. Die Herausspaltung der Figur wird begünstigt und zwar — wie gewöhnlich — auf dem Wege einer verstärkten Kontrastwirkung. In einem reinen Kontrastversuch würde die Wahrnehmung einer Körnung der Oberfläche nur störend auf den Kontrast einwirken.

Eine weitere Diskrepanz zwischen den Kontrast- und den Transformationserscheinungen ist nach G. E. Müller, daß die Transformation bei indirektem Sehen schwächer ist als bei direktem (Katz, a. a. O. S. 28, sowie Jaensch und Müller, a. a. O. S. 328f.), während sich bekanntlich der Kontrast in dieser Hinsicht umgekehrt verhält. Nach Katz (a. a. O., Kap. IV, §§ 26 bis 29) ist aber auch Formcharakter, Dinghaftigkeit und Oberflächenfarbigkeit der Objekte zentral deutlicher als peripher, so daß bei direktem Sehen im Transformationsversuch eine Begünstigung des Figurfaktors im obigen Sinne vorliegen kann, die bei indirektem Sehen nicht gleich stark hervortritt.

Diese Beispiele seien erwähnt, um nachzuweisen, daß eine äußere Diskrepanz zwischen den Transformations- und den Kontrasterscheinungen nicht unserer Theorie „den Hals brechen" kann. Auf Einzelheiten werde ich mich nicht einlassen, weil in mancher Hinsicht das Tatsachenmaterial noch nicht umfangreich genug ist[1], um eine detaillierte Ausformung einer Theorie zu ermöglichen. Von rein figuralem Gesichtspunkt aus sind die Versuche dieser Arbeit noch vielseitig auszubauen — es sei an Figur-Grundwechsel, an Ausdehnung und Form der Figur

[1] Es wäre die Aufgabe einer Monographie, frühere Untersuchungen der Transformationserscheinungen aus dem Gesichtspunkt der Figurprägnanz durchzumustern.

erinnert — und daß der Beleuchtungseindruck noch nicht eingehend genug analysiert worden ist, wurde schon oben bemerkt. Die „individuelle Erfahrung" spielt wohl auch bei der Transformation eine Rolle. Daß primär mit der „individuellen Erfahrung" nichts zu machen ist, sei zum Schluß hervorgehoben. Jede auf die Erfahrung gegründete Theorie scheint sich meines Erachtens in einem unfruchtbaren Zirkel zu bewegen. Denn es muß ja immer nach dem Mechanismus gefragt werden, welcher es bewirkt hat, daß eine Erfahrung gerade als diese Erfahrung auftritt. Wie wäre z. B. der Figur-Grundunterschied als ein Produkt der Erfahrung zu erklären?

Zusatz zur Korrektur: In einer vorläufigen Mitteilung, Bunte Farben in bunter Beleuchtung (*Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* I. 1926. Bd. 99. Heft 3 u. 4), bringen H. Bocksch und S. Kraus eine Bestätigung meines Befundes, daß bunte Farben in gleichfarbiger Beleuchtung weißlicher werden können. (Vgl. oben Kap. IV sowie meine auf S. 5 zitierte vorläufige Mitteilung). Leider habe ich diese Untersuchung bei der Abfassung meiner Arbeit nicht berücksichtigen können.